

"Kurzweil oferece um olhar único para um futuro no qual
as capacidades do computador e da espécie que o criou
ficarão ainda mais próximas uma da outra."

Bill Gates

ray kurzweil

A ERA DAS MÁQUINAS ESPIRITUAIS



A EDITORA
ALEPH



A ERA DAS MÁQUINAS ESPIRITUAIS

RAY KURZWEIL

TRADUÇÃO
FÁBIO FERNANDES

2ª Reimpressão

**EDITORA
ALEPH**

The age of spiritual machines Thiago Ventura e Luiza Franco William Lagos

Adilson da Silva

Tânia Rejane A. Gonçalves

Neide Siqueira

Join Bureau

Débora Dutra Vieira

Adriano Fromer Pjazzi

TÍTULO ORIGINAL

CAPA

TRADUÇÃO DAS NOTAS REVISÃO TÉCNICA REVISÃO PROJETO GRÁFICO EDITORAÇÃO E FOTOLITOS COORDENAÇÃO EDITORIAL EDITOR RESPONSÁVEL

Copyright © Ray Kurzweil, 1999 Copyright © Editora Aleph, 2007 (edição em língua portuguesa para o Brasil) Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução, no todo ou em parte, através de quaisquer meios. Publicado mediante acordo com Viking Penguin, uma divisão da Penguin Group (USA) Inc.

CRÉDITO DAS ILUSTRAÇÕES

Páginas 47, 50-1, 149, 215: concepção e texto de Ray Kurzweil; ilustração de Rose Russo e Robert Brun.

Página 109: © Sidney Harris, 1977.

Páginas 229-30: pinturas de Aaron, um robô computadorizado construído e programado por Harold Cohen (fotografadas por Becky Cohen) Página 256 © Roz Chast, 1998. Em *The Cartoon Bank*. Todos os direitos reservados.

Página 265 © Danny Shanahan, 1994. Em *The New Yorker Collection*. Todos os direitos reservados.

Página 297: © Peter Steiner, 1997. Em *The New Yorker Collection*. Todos os direitos reservados.

EDITORA ALEPH LTDA Rua João Moura, 397 05412-001 São Paulo SP Brasil Tel: [55 11] 3743-3202

Fax: [55 11] 3743-3263 www.editoraaleph.com.br

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil) Kurzweil, Ray

A Era das Máquinas Espirituais/Ray Kurzweil; tradução Fábio Fernandes. São Paulo: Aleph, 2007.

Título original: The age of spiritual machines.

Bibliografia.

ISBN 978-85-7657-033-2

1. Computadores 2. Inteligência artificial I. Título.

07-3858 CDD-006.3

Índice para catálogo sistemático: 1. Inteligência artificial: Ciência da computação 006.3

2ª reimpressão 2013

Orelhas

A Era das Máquinas Espirituais foi escrito em 1998.

Se o livro fosse um mero exercício de futurologia, os leitores talvez pudessem ficar um pouco decepcionados. Afinal, alguns eventos apontados pelo autor já aconteceram, e não com, a mesma velocidade prevista por ele. Mas Kurzweil não está muito preocupado com o acerto de suas previsões. A proposta deste clássico da tecnologia, finalmente lançado no Brasil, vai muito mais além.

Suas páginas revelam não apenas o quanto a computação avançou desde seus primórdios, mas entreveem quão intensamente ela pode avançar nas próximas décadas. É um livro que aponta caminhos para o futuro.

Kurzweil analisa as vastas possibilidades que a nanotecnologia e a inteligência artificial, entre diversos outros avanços, propiciarão ao planeta em termos de bem-estar material e psicológico. E ainda nos mostra que a relação entre seres humanos e máquinas está para mudar radicalmente.

Segundo o autor, o intervalo de tempo necessário para a evolução e o aprimoramento tecnológico ficará cada vez menor com o passar dos anos. E é esta a tese que sustenta suas previsões e que, por mais fictícias que possam parecer a princípio, as torna perfeitamente plausíveis.

Em menos de 100 anos as máquinas atingirão a mesma habilidade do cérebro humano um tempo ínfimo se comparado aos cerca de 1 bilhão de anos de evolução que os homens precisaram para desenvolver sua inteligência. Mas não ficarão por aí.

Não será surpresa se num futuro próximo as inteligências artificiais adquirirem personalidade própria e sentimentos antes exclusivamente humanos, até mesmo Experiências espirituais.

Até 2099, a longevidade física atingirá proporções inimagináveis, e a imortalidade será possível por meio de um processo de transferência da mente para outro suporte que não o carbono de nossos corpos.

A maioria das entidades conscientes não terá uma presença física permanente. Não haverá uma clara distinção entre homem e máquina e, possivelmente, criador e criatura se fundirão para formar uma nova espécie biotecnológica.

Infelizmente, não estaremos vivos até lá para saber se as previsões de Kurzweil vão se confirmar de fato. Ou estaremos?

Ray Kurzweil é reconhecidamente um escritor versátil, um pensador inquieto e um inventor antenado e extremamente criativo. Engenheiro de som e empresário, entre outras atividades, desenvolveu softwares de reconhecimento de voz, sintetizadores e máquinas de leitura para cegos utilizados por Stevie Wonder que se tornaram mundialmente famosos. Seu site www.kurzweil.net é referência em nanotecnologia, contendo informações atualizadas semanalmente sobre as mais recentes e avançadas pesquisas na área.

Na gíria norte-americana do marketing, Kurzweil seria um *preacher*: faz uma verdadeira pregação religiosa de suas crenças. E como todo bom pregador, consegue deixar seus fiéis arrebatados.

É autor de *The Age of Intelligent Machines*, que ganhou o Association of American Publishers' Award de melhor livro de informática de 1990. Ganhou o Dickson Prize, o principal prêmio científico da universidade Carnegie Mellon, em 1994. O Massachusetts Institute of Technology elegeu-o inventor do ano em 1988. Em 2004, em coautoria com o médico Terry Grossman, lançou o livro *A Mediana da Imortalidade* um abrangente programa de longevidade que inclui orientação nutricional, avanços da medicina e tecnologia de ponta, que em pouco tempo se tornou sucesso de vendas no Brasil.

Contracapa

Atualmente, Kurzweil vive em Boston, EUA.

Imagine um mundo em que as diferenças entre homem e máquina não são claras, onde a linha entre humanidade e tecnologia se desvanece e onde a alma e o chip de silício se unem. Isto não é ficção científica. É o século XXI segundo Ray Kurzweil, um dos maiores inventores da nossa era. Suas convicções inspiradas prometem um milênio extraordinário, em que o casamento da sensibilidade humana com a inteligência artificial alterará substancialmente a maneira como vivemos.

Mais do que uma simples lista de previsões, este livro visionário nos orienta pelos avanços tecnológicos que resultarão em incríveis conquistas: computadores excedendo a capacidade de memória e a habilidade do cérebro humano; pessoas se relacionando com personalidades automatizadas, que poderão ser seus professores, companheiros e até amantes; a transmissão direta de informação para dentro de nossos cérebros, seguindo caminhos neurais predeterminados.

Para Kurzweil, em breve a distinção entre humanos e computadores será tão imprecisa que, quando as máquinas exibirem em suas telas mensagens como "estamos conscientes", não teremos muitos motivos para duvidar delas. "Brilhante... Kurzweil assume claramente seu lugar como um dos maiores futurólogos do nosso tempo. Ele une o crescimento inexorável da tecnologia futura a um universo no qual a inteligência artificial e a nanotecnologia se combinam para criar riqueza e longevidade inimagináveis, não só para nossos descendentes, mas para alguns dos que estão vivendo ainda hoje."

Marvin Minsky, Professor de Media Arts and Sciences, MIT

Elogios para
A Era das Máquinas Espirituais

A Era das Máquinas Espirituais “aborda uma ampla variedade de assuntos muito interessantes, como entropia, caos, o Big Bang, a teoria quântica, computadores de DNA, computadores quânticos, o teorema de Gödel, redes neurais, algoritmos genéticos, nanoEngenharia, o teste de Turing, escaneamento do cérebro, a lentidão dos neurônios, programas que jogam xadrez, a Internet o mundo inteiro da tecnologia de informação no passado, no presente e no futuro. Este é um livro para todas as pessoas que se perguntam qual será o próximo passo da tecnologia humana.”.

The New York Times Book Review

“Um relato esclarecedor sobre a ascensão das máquinas inteligentes... Nada menos que um manual de instruções sobre como tirar o *Homo sapiens* do centro do palco nessa peça teatral interminável que é a evolução... Se você aceitar isso [a Lei dos Retornos Acelerados de Kurzweil] e todas as provas empíricas disponíveis hoje em dia a confirmam completamente -, então a substituição dos humanos pelas máquinas como a principal força intelectual da Terra é de fato iminente.”

John Casti, *Nature*

“Um desafio bem-vindo às crenças que nos são tão caras... Kurzweil pinta um retrato impressionante e às vezes assustador de um mundo em que a linha que divide humanos e máquinas não está mais nem um pouco clara.”

Chet Raymo, *Boston Globe*

“Brilhante... Kurzweil assume claramente seu lugar como um dos maiores futurólogos de nosso tempo. Ele une o crescimento inexorável de nossa tecnologia futura a um universo no qual a inteligência artificial e a nanotecnologia se combinam para criar riqueza e longevidade inimagináveis, não só para nossos descendentes, mas para alguns dos que estão vivendo ainda hoje.”

Marvin Minsky, professor de *Media Arts and Sciences*, MIT

“*A Era das Máquinas Espirituais* faz todas as outras estradas para o futuro da informática parecerem trilhas de cabras na Patagônia.”

George Gilder, autor de *Wealth and Poverty* e *Life After Television*

“Uma visão instigante do futuro, por um dos maiores inovadores dos EUA. Kurzweil mistura ciência séria e uma pitada de senso de humor, e pergunta para onde estamos indo... Com suas invenções pioneiras, e suas ideias penetrantes, Kurzweil nos leva convincentemente ao que promete ser o mais fundamental dos séculos.”

Mike Brown, presidente da NASDAQ

“Um vislumbre extremamente provocador no que as próximas décadas poderão de fato nos reservar... A visão ampla e a abordagem inovadora de Kurzweil fazem com que seu otimismo seja difícil de resistir.”

Kirkus Reviews

“Kurzweil oferece uma análise instigante da inteligência humana e artificial, e um olhar único para um futuro no qual as capacidades do computador e da espécie que o criou ficarão ainda mais próximas uma da outra.”

Bill Gates, fundador da Microsoft

“*A Era das Máquinas Espirituais* é impressionante. Kurzweil apresenta um cenário que poderia até parecer ficção científica, se não fosse proposto por um empreendedor experiente.”
San Francisco Chronicle

SUMARIO

Nota ao Leitor

Agradecimentos

Prólogo: Uma Emergência Inexorável

Antes do fim do século XXI, os seres humanos não mais serão o tipo de entidade mais inteligente ou capaz neste planeta. Na realidade, deixe-me retirar o que acabei de dizer. A verdade desta última frase vai depender de como definimos o que é *humano*

PARTE UM: SONDANDO O PASSADO

Capítulo Um: A Lei do Tempo e do Caos

Ao longo dos últimos 40 anos, de acordo com a Lei de Moore, o poder da computação com base em transistores tem crescido de modo exponencial. Mas, por volta do ano 2020, os componentes de um transistor terão apenas alguns átomos de espessura, e a Lei de Moore já terá perdido a validade. E depois? Para responder a esta questão crucial, precisamos compreender a natureza exponencial do tempo

Capítulo Dois: A Inteligência da Evolução

Pode uma inteligência criar outra inteligência mais inteligente do que ela própria? Será que somos mais inteligentes do que o processo evolucionário que nos criou? Por sua vez, será que a inteligência que estamos criando chegará a superar a de seu criador?

Capítulo Três: Sobre Mente e Máquinas

“Estou sozinho e entediado, por favor, fique comigo.” Se seu computador exibisse essa mensagem em sua tela, isso convenceria você de que ele possui consciência e sentimentos? Não diga *não* muito rápido: precisamos levar em conta como surgiu uma mensagem tão desesperada

Capítulo

Quatro: Uma Nova Forma de Inteligência na Terra

A inteligência rapidamente cria planos satisfatórios e, às vezes, surpreendentes que enfrentam uma série de restrições. Está claro que nenhuma fórmula simples pode emular este que é o mais poderoso dos fenômenos. Na verdade, isso está errado. Tudo o que é necessário para solucionar uma série surpreendentemente ampla de problemas inteligentes é exatamente o seguinte: métodos simples combinados com doses maciças de computação, o que por si só é um processo simples

Capítulo Cinco: Contexto

e Conhecimento

É sensato lembrar os insights de hoje para enfrentar os desafios de amanhã. Não é produtivo repensar cada problema que surge ao longo do caminho. Isto é particularmente verdadeiro para os seres humanos, em razão da velocidade extremamente lenta dos circuitos dos nossos computadores

PARTE DOIS: PREPARANDO O PRESENTE

Capítulo Seis: Construindo Novos Cérebros...

A evolução encontrou um caminho para tangenciar as limitações computacionais de circuitos neurais. De forma inteligente, ela criou organismos que, por sua vez, inventaram uma tecnologia computacional 1 milhão de vezes mais rápida que os neurônios com base de carbono. Em última instância, a computação executada em circuitos neurais mamíferos extremamente lentos será levada a um equivalente eletrônico (e fotônico) muito mais versátil e veloz

Capítulo Sete:...E

Corpos

Uma mente desencorpada ficará deprimida rapidamente. Então, que espécie de corpos forneceremos para nossas máquinas do século XXI? Mais tarde, a questão será: que espécie de corpos eles criarão para si mesmos?

Capítulo Oito: 1999

Se todos os computadores, em 1960, parassem de funcionar, pouca gente teria reparado. Já em 1999, a história é outra. Embora os computadores ainda não tenham senso de humor, o dom da conversação e outras qualidades cativantes do pensamento humano, ainda assim estão começando a dominar uma série de tarefas cada vez mais diversa, que antes exigia a inteligência humana.

PARTE TRÊS: ENCARANDO O FUTURO

Capítulo Nove: 2009

Estamos em 2009. Um computador pessoal de 1.000 dólares pode executar cerca de 1 trilhão de cálculos por segundo. Os computadores estão embutidos em roupas e em joias. A maioria das transações comerciais rotineiras acontece entre um humano e uma personalidade virtual. Telefones com sistemas de tradução são usados normalmente. Músicos humanos costumam fazer *jam sessions* com músicos cibernéticos. O movimento neoludita está crescendo

Capítulo Dez: 2019

Um dispositivo computacional de 1.000 dólares está, hoje, praticamente igual à habilidade computacional do cérebro humano. Muitos computadores são invisíveis e estão embutidos em toda parte. Displays tridimensionais de realidade virtual, inseridos em óculos e lentes de contato, fornecem a interface primária para a comunicação com outras pessoas, com a Web e com a realidade virtual. A maior parte da interação com a computação é realizada por meio de gestos e comunicação falada de linguagem natural em via de mão dupla. Ambientes realistas visuais, auditivos e táteis que abrangem tudo ao redor habilitam as pessoas a fazer praticamente tudo com qualquer um, independentemente da proximidade física. As pessoas estão começando a estabelecer relacionamentos com personalidades automatizadas, sejam companheiros, professores, babás ou amantes.

Capítulo Onze: 2029

Uma unidade computacional de 1.000 dólares tem a capacidade computacional de aproximadamente 1.000 cérebros humanos. Caminhos neurais diretos foram aperfeiçoados para conexão em banda larga com o cérebro humano. Uma série de implantes neurais está sendo disponibilizada para ampliar a percepção e a interpretação visual e auditiva, a memória e o raciocínio. Os computadores já leram toda a literatura gerada por humanos e por máquinas, além de material multimídia. Existe uma discussão cada vez maior a respeito dos direitos legais dos computadores e o que constitui ser humano. As máquinas afirmam ser conscientes e essas alegações são amplamente aceitas

Capítulo Doze: 2099

Existe forte tendência para uma fusão do pensamento humano com o mundo da inteligência de máquina. Inicialmente criado pela espécie humana. Não existe mais qualquer distinção clara entre humanos e computadores. A maioria das entidades conscientes não possui uma presença física permanente. Inteligências baseadas em máquinas derivadas de modelos estendidos da inteligência humana afirmam ser humanas. A maioria dessas inteligências não está amarrada a uma unidade de processamento computacional específica. O número de humanos com base em software excede, e muito, as inteligências humanas que ainda usam computação com base em neurônios. Mesmo entre as inteligências humanas que ainda usam neurônios com base em carbono, existe um uso onipresente de tecnologia de implantes neurais que oferece um aumento enorme das habilidades perceptuais e cognitivas humanas. Humanos que não utilizam esses implantes são incapazes de participar de modo significativo de diálogos com aqueles que os usam. Expectativa de vida não é mais uma expressão viável de se utilizar no que se refere a seres inteligentes

Epílogo: O Resto do Universo Revisitado

Seres inteligentes pensam sobre o destino do universo
Linha do Tempo

Como Construir uma Máquina Inteligente em Três
Paradigmas Fáceis

Glossário

Notas

Leituras Sugeridas

Web Links

NOTA AO LEITOR

A trajetória de um fóton que percorre um labirinto de placas de vidro e espelhos é sempre ambígua. Em essência, ele toma todo caminho possível que estiver à sua disposição (aparentemente, esses fótons nunca leram o poema *The Road Not Taken*, de Robert Frost. Numa tradução literal, “A Estrada Não Percorrida” N. do T.). Esta ambiguidade permanece até que a observação, realizada por um observador consciente, force a partícula a decidir que caminho havia tomado. Então a incerteza é resolvida retroativamente e é como se o caminho selecionado tivesse sido tomado o tempo todo.

Assim como essas partículas quânticas, você o leitor tem escolhas a fazer em seu caminho por este livro. Você pode ler os capítulos conforme minha intenção de que fossem lidos, em ordem sequencial. Ou, após a leitura do Prólogo, pode decidir que o futuro não pode esperar, e deseje pular imediatamente para os capítulos da Parte III, no século XXI (o sumário nas próximas páginas oferece uma descrição de cada capítulo). Então você poderá fazer o caminho de volta aos primeiros capítulos, que descrevem a natureza e a origem das tendências e forças que se manifestarão neste século que se inicia. Ou, quem sabe, seu curso permanecerá ambíguo até o fim. Mas, quando você chegar ao Epílogo, qualquer ambiguidade remanescente será solucionada, e será como se você sempre tivesse tido a intenção de ler o livro na ordem que você escolheu.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão para com as muitas pessoas que forneceram inspiração, paciência, ideias, críticas, insights e toda a sorte de ajuda para este projeto. Gostaria de agradecer em particular a:

- minha esposa, Sonya, por sua paciência e seu carinho ao longo das voltas que o processo criativo dá;
- minha mãe, por longas e instigantes caminhadas comigo quando eu era criança nos bosques do Queens (sim, havia florestas no bairro do Queens, em Nova York, quando eu era adolescente), e pelo interesse e entusiasmo que ela demonstrou, apoiando desde cedo minhas ideias nem sempre inteiramente “no ponto”;

- meus editores na Viking, Barbara Grossman e Dawn Drzal, pela orientação inteligente e Experiência editorial, e à equipe dedicada da Viking Penguin, incluindo Susan Petersen, editora; Ivan Held e Paul Slovak, executivos de marketing; John Jusino, editor de copidesque; Betty Lew, designer; Jariya Wanapun, assistente editorial, e Laura Ogar, indexadora;
- Jerry Bauer, por sua fotografia paciente;
- David High, por realmente bolar uma máquina espiritual para a capa;
- minha agente literária, Loretta Barrett, por ajudar a dar forma a este projeto;
- minhas pesquisadoras maravilhosamente competentes, Wendy Dennis e Nancy Mulford, por seus esforços dedicados e inteligentes, e Tom Garfield, por sua assistência valiosa;
- Rose Russo e Robert Brun, por transformarem ideias para ilustrações em belas apresentações visuais;
- Aaron Kleiner, por seu apoio e incentivo;
- George Gilder, por seus pensamentos e insights estimulantes;
- Harry George, Don Gonson, Larry Janowitch, Hannah Kurzweil, Rob Pressman e Mickey Singer, por discussões importantes e que me ajudaram sobre estes tópicos;
- meus leitores: Peter Arnold, Melanie Baker-Futorian, Loretta Barrett, Stephen Baum, Bryan Bergeron, Mike Brown, Cheryl Cordima, Avi Coren, Wendy Dennis, Mark Dionne, Dawn Drzal, Nicholas Fabijanic, Gil Fischman, Ozzie Frankell, Vicky Frankell, Bob Frankston, Francis Ganong, Tom Garfield, Harry George, Audra Gerhardt, George Gilder, Aaron Kleiner, Jerry Kleiner, Allen Kurzweil, Amy Kurzweil, Arielle Kurzweil, Edith Kurzweil, Ethan Kurzweil, Hannah Kurzweil, Lenny Kurzweil, Missy Kurzweil, Nancy Kurzweil, Peter Kurzweil, Rachel Kurzweil, Sonya Kurzweil, Jo Lernout, Jon Lieff, Elliot Lobel, Cyrus Mehta, Nancy Mulford, Nicholas Mullendore, Rob Pressman, Vlad Sejnoha, Mickey Singer, Mike Sokol, Kim Storey e Barbara Tyrell, por seus elogios e críticas (sendo estas últimas as de mais ajuda) e muitas sugestões valiosas;
- por fim, todos os cientistas, engenheiros, empreendedores e artistas que estão ocupados, criando a era das máquinas espirituais.

PROLOGO: UMA EMERGÊNCIA INEXORÁVEL

O jogador não esperava estar ali. Mas, pensando bem, achou que não havia sido um sujeito tão mau em vida. E aquele lugar era muito mais bonito e prazeroso do que ele havia imaginado. Por toda parte, havia magníficos candelabros de cristal, os mais finos tapetes feitos à mão, as comidas mais suntuosas, e, sim, as mulheres mais belas, que pareciam fascinadas com seu novo parceiro celestial. Ele tentou a sorte na roleta, e, por incrível que parecesse, seu número era sempre o sorteado. Tentou as mesas de carteadado, e sua sorte era simplesmente notável: ganhava uma partida atrás da outra. Na verdade, suas vitórias estavam provocando um frisson e tanto, provocando uma grande empolgação da parte dos funcionários e, também, das belas mulheres.

Isso continuou dia após dia, semana após semana, e o jogador ganhava todos os jogos, acumulando uma renda cada vez maior. Tudo estava indo do jeito que ele queria. Ele simplesmente continuava ganhando. E, semana após semana, mês após mês, a sorte do jogador permanecia inquebrantável.

Depois de algum tempo, aquilo começou a ficar chato. O jogador estava ficando inquieto; as vitórias estavam começando a perder o sentido. Mas nada mudava. Ele simplesmente continuava ganhando todos os jogos, até que, um dia, o agora angustiado jogador se voltou para o anjo que aparentemente mandava no pedaço e disse que não aguentava mais. O céu não era para ele, afinal. Ele chegara à conclusão de que estava destinado ao “outro lugar”, e de fato era lá que ele queria estar.

“Mas o outro lugar é aqui”, foi a resposta.

Esta é a minha recordação de um episódio de *Além da Imaginação* que vi quando criança. Não me lembro do título, mas eu o chamaria de “Cuidado com o que você deseja”.¹ Como essa interessantíssima série gostava de fazer, ela ilustrou um dos paradoxos da natureza humana: nós gostamos de resolver problemas, mas não queremos que todos sejam resolvidos, pelo menos não tão rápido. Estamos mais vinculados aos problemas do que às soluções.

A morte, por exemplo. Grande parte de nosso esforço consiste em evitá-la. Fazemos esforços extraordinários para atrasá-la e, na verdade, costumamos considerar sua intrusão um acontecimento trágico. Mas acharíamos difícil viver sem ela. A morte dá sentido às nossas vidas. Ela dá importância e valor ao tempo. O tempo se tornaria sem sentido se fosse demasiado longo. Se a morte fosse afastada indefinidamente, a psique humana acabaria como o jogador nesse episódio de *Além da Imaginação*.

Ainda não temos este problema. Hoje em dia não nos falta nem morte nem

problemas humanos. Poucos observadores acham que o século **XX** nos deixou algo de bom. Existe uma prosperidade cada vez maior, alimentada não por acaso pela tecnologia da informação, mas a espécie humana ainda é desafiada por problemas e dificuldades que não são inteiramente diferentes dos problemas e dificuldades com os quais tem lutado desde o início de sua história registrada.

O século XXI será diferente. A espécie humana, juntamente com a tecnologia computacional que criou, será capaz de solucionar problemas antiquíssimos por necessidade, mesmo que não por desejo, e estará em posição de mudar a natureza da mortalidade em um futuro pós-biológico. Será que temos a capacidade psicológica para todas as coisas boas que nos aguardam? Provavelmente, não. Mas isso também pode mudar.

Antes do fim do século XXI, os seres humanos não mais serão o tipo de entidade mais inteligente ou capaz neste planeta. Na realidade, deixe-me retirar o que acabei de dizer. A verdade desta última afirmação vai depender de como definimos o que é humano. E aqui vemos uma profunda diferença entre o século **XX** e o XXI: a principal questão política e filosófica do século XXI será a definição de quem somos.²

Mas estou me adiantando. O século **XX** viu enormes mudanças tecnológicas e as revoluções sociais que as acompanharam, que poucos analistas, por volta de 1899, previram. O ritmo da mudança está acelerando e assim tem sido desde o advento da invenção (conforme discutirei no primeiro capítulo, esta aceleração é uma característica inerente da tecnologia). O resultado serão transformações muito maiores nas primeiras duas décadas do século XXI do que vimos em todo o século **XX**. Entretanto, para apreciarmos a lógica inexorável de para onde o século XXI nos levará, temos de voltar e começar com o presente.

Transição para o século XXI

Os computadores hoje superam a inteligência humana em uma ampla variedade de domínios inteligentes, porém, estreitos como jogar xadrez, diagnosticar determinadas doenças, comprar e vender ações e orientar mísseis *cruise*. Mas a inteligência humana, de modo geral, permanece bem mais robusta e flexível. Os computadores ainda são incapazes de descrever os objetos em uma mesa de cozinha atulhada de objetos, escrever um sumário de um livro ou o roteiro de um filme, amarrar um par de sapatos, dizer a diferença entre um cão e um gato (embora acredite que esta característica esteja se tornando viável hoje com redes neurais contemporâneas simulações computadorizadas de neurônios humanos),³ reconhecer humor ou executar outras tarefas sutis nas quais seus

criadores humanos sejam excelentes.

Uma das razões para essa disparidade em termos de capacidades é que nossos computadores mais avançados ainda são mais simples do que o cérebro humano atualmente, cerca de um milhão de vezes mais simples (uma ou duas ordens de magnitude para cima ou para baixo, dependendo do tipo de suposição utilizado). Mas esta disparidade não continuará em questão no começo do século XXI. Os computadores dobraram de velocidade a cada três anos no começo do século XX, a cada dois anos nas décadas de 1950 e 1960, e estão agora dobrando de velocidade a cada doze meses. Esta tendência irá continuar, e os computadores atingirão a capacidade de memória e a velocidade de computação do cérebro humano por volta do ano 2020.

Atingir a complexidade e a capacidade básicas do cérebro humano não resultará automaticamente em computadores que tenham a mesma flexibilidade da inteligência humana. A organização e o conteúdo desses recursos o software da inteligência é igualmente importante. Uma abordagem para a emulação do software do cérebro é através do procedimento de Engenharia reversa: escanear um cérebro humano (o que poderá ser conseguido no começo do século XXI)⁴ e essencialmente copiar seus circuitos neurais em um computador neural (um computador projetado para simular um número maciço de neurônios humanos) de capacidade suficiente.

Existe uma variedade enorme de cenários factíveis nos quais uma máquina pode atingir a inteligência de nível humano. Seremos capazes de evoluir e treinar um sistema que combine redes neurais maciçamente paralelas com outros paradigmas para compreender a linguagem e o conhecimento de modelos, incluindo a capacidade de ler e compreender documentos escritos. Embora a capacidade dos computadores de hoje para extrair e aprender conhecimento a partir de documentos em linguagem natural seja bastante limitada, suas habilidades nesse domínio estão aumentando rapidamente. Computadores serão capazes de ler por conta própria, compreender e modelar o que leram, lá pela segunda década do século XXI. Poderemos, então, fazer com que nossos computadores leiam toda a literatura do mundo: livros, revistas, revistas científicas e outros materiais disponíveis. No fim das contas, as máquinas irão acumular conhecimento por conta própria, aventurando-se no mundo físico, aproveitando toda a variedade de serviços e informações de mídia, e compartilhar conhecimento umas com as outras (o que as máquinas podem fazer com muito mais facilidade que seus criadores humanos).

Assim que um computador atingir um nível humano de inteligência, ele necessariamente o ultrapassará voando. Desde sua criação, os computadores têm superado de modo significativo a destreza mental humana de recordar e

processar informações. Um computador pode se lembrar de bilhões ou mesmo trilhões de fatos com perfeição, enquanto nós temos grande dificuldade de memorizar um punhado de números de telefone. Um computador pode rapidamente vasculhar um banco de dados com bilhões de registros em frações de segundo. Computadores podem compartilhar prontamente suas bases de conhecimento. A combinação de inteligência de nível humano em uma máquina com a superioridade inerente de um computador na velocidade, precisão e capacidade de compartilhamento de sua memória será formidável.

Os neurônios dos mamíferos são criações maravilhosas, mas não os teríamos construído da mesma forma. Grande parte de sua complexidade é dedicada a dar suporte aos seus próprios processos vitais, e não às suas habilidades de controle de informação. Além do mais, neurônios são extremamente lentos; circuitos eletrônicos são, pelo menos, um milhão de vezes mais rápidos. Quando um computador atingir um nível humano de habilidade na compreensão de conceitos abstratos, reconhecimento de padrões e outros atributos da inteligência humana, ele será capaz de aplicar essa habilidade a uma base de conhecimento de todo o conhecimento adquirido pelos humanos e pelas máquinas.

Uma reação comum à proposição de que os computadores irão competir seriamente com a inteligência humana é desprezar essa variedade com base, primariamente, numa análise da capacidade atual. Afinal de contas, quando interajo com meu computador pessoal, sua inteligência parece limitada e frágil, se é que parece inteligente. E difícil imaginar um computador pessoal tendo senso de humor, defendendo uma opinião ou exibindo qualquer uma das demais atitudes maravilhosas do pensamento humano.

Mas o estado da arte em tecnologia informática é tudo, menos estático. Hoje, estão emergindo capacidades de computadores que eram consideradas impossíveis uma ou duas décadas atrás. Alguns dos exemplos: a capacidade de transcrever com precisão a fala humana normal contínua, compreender e responder de modo inteligível à linguagem natural, reconhecer padrões em procedimentos médicos como eletrocardiogramas ou exames de sangue com uma precisão que se equipara à dos médicos humanos, e, é claro, jogar xadrez em nível de campeão mundial. Até o fim desta década, veremos telefones tradutores que oferecem tradução de fala em tempo real de um idioma humano para outro, assistentes pessoais computadorizados inteligentes que podem conversar e rapidamente buscar e compreender as bases de conhecimento do mundo, e uma profusão de outras máquinas com inteligência cada vez mais ampla e flexível.

Na segunda década do século XXI, ficará cada vez mais difícil traçar qualquer distinção clara entre as capacidades da inteligência humana e de

máquina. As vantagens da inteligência do computador em termos de velocidade, precisão e capacidade serão claras. As vantagens da inteligência humana, por outro lado, ficarão cada vez mais difíceis de distinguir.

As habilidades do software de computadores já são melhores do que a maioria das pessoas acha. Em minha Experiência, frequentemente acontece que, ao demonstrar avanços recentes em, digamos, reconhecimento de fala ou de caracteres, os observadores se surpreendam com a última geração de tecnologia. Por exemplo, a última Experiência de um usuário típico de computador com tecnologia de reconhecimento de fala pode ter sido um software de baixo custo, gratuito, de anos atrás, que reconhecia um vocabulário limitado, exigia pausas entre palavras, e fazia, mesmo assim, um trabalho incorreto. Esses usuários ficam então surpresos ao verem sistemas atuais que conseguem reconhecer uma fala totalmente contínua com um vocabulário de 60 mil palavras, com níveis de precisão comparáveis ao de um digitador humano.

Tenha também em mente que a progressão da inteligência dos computadores vai acontecer de mansinho e nos pegar de surpresa. Como apenas um dos exemplos, lembre-se da confiança de Garry Kasparov, em 1990, de que um computador jamais chegaria sequer perto de vencê-lo. Afinal, ele havia jogado com os melhores computadores, e a habilidade deles no jogo de xadrez comparada à dele era patética. Mas os jogos de xadrez em computadores fizeram um grande progresso, ganhando 45 pontos no ranking a cada ano. Em 1997, um computador passou zunindo por Kasparov, pelo menos no xadrez. Muito se falou sobre o fato de que outros empreendimentos humanos são bem mais difíceis de emular do que jogar xadrez. *Isto é verdade*. Em muitas áreas a capacidade de escrever um livro sobre computadores, por exemplo -, os computadores ainda são patéticos. Mas, à medida que os computadores continuam a ganhar capacidade a uma taxa exponencial, teremos a mesma Experiência nessas outras áreas que Kasparov teve no xadrez. Ao longo das próximas décadas, a competência das máquinas irá rivalizar com e no fim das contas, superar qualquer habilidade humana que se possa imaginar, incluindo nossa maravilhosa capacidade de colocar nossas ideias em uma ampla diversidade de contextos.

A evolução tem sido vista como um drama de um bilhão de anos que levou inexoravelmente à sua maior criação: a inteligência humana. Nas primeiras décadas do século XXI, a emergência de uma nova forma de inteligência na Terra que possa competir com a inteligência humana, e no fim das contas superá-la de modo significativo, será um desenvolvimento de maior importância do que a criação da inteligência que a criou, e terá profundas implicações em todos os aspectos do esforço humano, incluindo a natureza do trabalho, o aprendizado humano, o governo, a guerra, as artes e nosso conceito de nós mesmos.

Este espectro ainda não está aqui. Mas, com a emergência de computadores que verdadeiramente rivalizam com o cérebro humano em complexidade e o excedem, virá uma capacidade correspondente das máquinas para compreender e responder a abstrações e sutilezas. Os seres humanos parecem ser complexos, em parte por causa dos objetivos de competição internalizados em nós. Valores e emoções representam objetivos que frequentemente entram em conflito uns com os outros, e são um produto inevitável dos níveis de abstração com os quais lidamos como seres humanos. Quando os computadores atingirem um nível comparável e maior de complexidade, e à medida que derivarem, pelo menos em parte, de modelos de inteligência humana, eles também irão necessariamente utilizar objetivos com valores e emoções implícitas, embora não necessariamente os mesmos valores e emoções que os humanos exibem.

Uma série de questões filosóficas irá surgir então. Será que os computadores estão pensando, ou estão apenas calculando? E, do modo contrário, será que os seres humanos estão pensando, ou apenas calculando? O cérebro humano, presumivelmente, segue as leis da física, então deve ser uma máquina, ainda que muito complexa. Será que existe uma diferença inerente entre o pensamento humano e o pensamento de uma máquina? Para colocar a questão de outra maneira, quando os computadores forem tão complexos quanto o cérebro humano, e puderem se comparar ao cérebro humano em sutileza e complexidade de pensamento, será que deveremos considerá-los então conscientes? Esta é uma questão difícil sequer de se perguntar, e alguns filósofos acreditam que não faz sentido; outros acreditam que ela é a única questão que faz sentido na filosofia. Esta questão, na verdade, remonta aos tempos de Platão, mas, com a emergência de máquinas que genuinamente parecem possuir volição e emoção, a questão se tornará cada vez mais importante.

Por exemplo, se uma pessoa escanear seu cérebro através de uma tecnologia de escaneamento não invasiva do século XXI (como a tecnologia de imagens por ressonância magnética avançada) e fizer um download de sua mente para seu computador pessoal, é a “pessoa” que emerge na máquina a mesma consciência da pessoa que foi escaneada? Essa “pessoa” poderá implorar a você de modo convincente que “ele” cresceu no Brooklyn, foi à faculdade em Massachusetts, entrou num scanner lá e acordou na máquina aqui. A pessoa original que foi escaneada, por outro lado, reconhecerá que a pessoa na máquina de fato parece compartilhar de sua história, conhecimento, memória e personalidade, mas, tirando isso, é um impostor, uma pessoa diferente.

Mesmo que limitemos nossa discussão a computadores que não sejam derivados diretamente de um cérebro humano particular, eles parecerão cada vez mais ter suas próprias personalidades, evidenciando reações que só podemos

rotular como emoções e articulando seus próprios objetivos e propósitos. Eles parecerão ter vontade própria. Afirmarão ter Experiências espirituais. E as pessoas aquelas que ainda usam neurônios com base em carbono vão acreditar nelas.

E comum lermos previsões referentes às próximas décadas, discutindo uma série de tendências demográficas, econômicas e políticas que ignoram em grande parte o impacto revolucionário das máquinas com suas opiniões e seus objetivos próprios. Mas precisamos refletir sobre as implicações da emergência gradual, porém inevitável, de uma verdadeira competição para que todo o alcance do pensamento humano possa compreender o mundo que está à nossa frente.

PARTE UM: SONDANDO O PASSADO

Capítulo Um

LEI DO TEMPO E DO CAOS

*Uma (brevíssima) história do universo:
o tempo reduzindo a velocidade
O universo é feito de histórias, não de átomos.*
Muriel Rükeyser

*Será o universo um grande mecanismo, uma grande computação,
uma
grande simetria, um grande acidente ou um grande pensamento?*
John D. Barrow

Como estamos começando pelo começo, vamos observar um atributo incomum da natureza do tempo, um atributo fundamental para a nossa passagem para o século XXI. Nossa história começa, talvez, 15 bilhões de anos atrás. Não existia nenhuma vida consciente para apreciar o nascimento do Universo naquela época, mas hoje nós o apreciamos, ainda que retroativamente. (Em retrospecto do ponto de vista da mecânica quântica poderíamos dizer que qualquer Universo que não consiga fazer evoluir uma vida consciente que apreenda sua existência jamais existiu.)

Somente em 10^{-43} (um décimo de milionésimo de trilionésimo de trilionésimo de trilionésimo de segundo) após o nascimento do Universo¹ que a situação havia esfriado o suficiente (para 100 milhões de trilhões de trilhões de graus), que uma força distinta a gravidade evoluiu.

Não aconteceu muita coisa por mais outros 10^{-16} segundos (esta também é uma fração muito pequena de segundo, mas é um bilhão de vezes maior que 10^{-43} segundos), ponto em que um Universo ainda mais frio (que agora tem apenas um bilhão de bilhão de bilhão de graus) permitiu a emergência de matéria na forma de elétrons e quarks. Para manter as coisas em equilíbrio, a antimatéria apareceu também. Foi um momento cheio de eventos, quando novas forças evoluíram a uma velocidade rápida. Agora estávamos em três: gravidade, a força forte,² e a força eletrofraca³.

Após mais 10^{-10} segundos (um décimo de bilhão de segundo), a força

eletrofraca se dividiu nas forças eletromagnética e fraca⁴, que conhecemos tão bem hoje.

As coisas ficaram complicadas após mais 10^{-5} segundos (dez milionésimos de segundo). Com a temperatura agora baixando até um relativamente ameno trilhão de graus, os quarks se juntaram para formar prótons e nêutrons. Os antiquarks fizeram a mesma coisa, formando antiprótons.

De algum jeito, as partículas de matéria atingiram um ligeiro limiar. Como isto aconteceu, ainda não está inteiramente claro. Até então, tudo havia parecido na mesma. Mas, se tudo houvesse permanecido inteiramente equilibrado, o Universo teria sido um lugar bastante chato. Para começar, a vida nunca teria evoluído, e, dessa forma, poderíamos concluir que o Universo jamais teria existido em primeiro lugar.

Para cada 10 bilhões de antiprótons, o Universo continha 10 bilhões e 1 prótons. Os prótons e antiprótons colidiram, provocando a emergência de outro importante fenômeno: a luz (fótons). Assim, quase toda a antimatéria foi destruída, deixando matéria como dominante. (Isto mostra a você o perigo de permitir que um concorrente consiga até mesmo uma pequena vantagem.)

Naturalmente, se a antimatéria tivesse vencido, seus descendentes a teriam chamado de matéria e teriam chamado a matéria de antimatéria, então estaríamos de volta aonde começamos (talvez seja isto o que aconteceu).

Depois de mais um segundo (um segundo é um tempo muito longo se comparado a alguns dos primeiros capítulos da história do Universo; portanto, repare como os intervalos de tempo estão ficando exponencialmente mais longos), os elétrons e antielétrons (chamados pósitrons) seguiram a liderança dos prótons e antiprótons e aniquilaram-se da mesma forma, uns aos outros, deixando em grande parte apenas os elétrons.

Depois de mais um minuto, os nêutrons e prótons começaram a se fundir em núcleos mais pesados, como hélio, lítio e formas pesadas de hidrogênio. A temperatura era, agora, de apenas um bilhão de graus.

Cerca de 300 mil anos mais tarde (as coisas estão ficando mais lentas agora), com a temperatura média de apenas 3 mil graus, os primeiros átomos foram criados quando os núcleos assumiram o controle de elétrons mais próximos.

Após 1 bilhão de anos, esses átomos formaram grandes nuvens que foram, aos poucos, rodopiando e se transformando em galáxias.

Depois de mais 1 bilhão de anos, a matéria dentro das galáxias se fundiu em estrelas distantes, muitas com seus próprios sistemas solares.

Três bilhões de anos depois, ao redor de uma estrela nada excepcional no braço de uma galáxia comum, um planeta nada notável, que chamamos de Terra, nasceu.

Agora, antes de irmos mais além, vamos notar uma característica impressionante da passagem do tempo. Eventos aconteceram muito rapidamente no começo da história do Universo. Tivemos três mudanças de paradigma apenas no primeiro bilionésimo de segundo. Mais tarde, eventos de significado cosmológico levaram bilhões de anos para acontecer. A natureza do tempo é que ele se move inerentemente de forma exponencial: ou ganhando velocidade geometricamente ou, como na história de nosso Universo, geometricamente perdendo velocidade. O tempo apenas parece ser linear durante aqueles éons nos quais não aconteceu muita coisa. Assim, na maior parte do tempo, a passagem linear de tempo é uma aproximação razoável de sua passagem. Mas não é a natureza inerente do tempo.

Por que isto é significativo? Não é quando você está preso nos éons em que não acontece muita coisa. Mas é de grande importância quando você se encontra no “joelho da curva”, aqueles períodos nos quais a natureza exponencial da curva do tempo explode para dentro ou para fora. E como cair em um buraco negro (neste caso, o tempo acelera exponencialmente quando se cai dentro dele).

A velocidade do tempo

Mas... espere um segundo: como podemos dizer que o tempo está mudando de “velocidade”? Podemos falar na taxa de um processo, em termos de seu progresso, mas será que podemos dizer que o tempo está mudando sua taxa de velocidade? Será que o tempo pode se mover a, digamos, dois segundos por segundo?

Einstein disse exatamente isso: o tempo é relativo às entidades que o vivenciam.⁵ O segundo de um homem pode ser os 40 anos de outra mulher. Einstein dá o exemplo de um homem que viaja a uma velocidade muito próxima da luz até uma estrela digamos, a 20 anos-luz de distância. De nossa perspectiva presa à Terra, a viagem dura pouco mais de 20 anos em cada direção. Quando o homem retorna, sua esposa envelheceu 40 anos. Para ele, entretanto, a viagem foi razoavelmente rápida. Se ele viajou perto o bastante da velocidade da luz, pode ter levado apenas um ou dois segundos (de um ponto de vista prático, teríamos de levar em conta algumas limitações, como o tempo necessário para acelerar e desacelerar sem esmagar seu corpo). Qual intervalo de tempo é o correto? Einstein disse que ambos estão corretos, e só existem relativos um ao outro.

Certas espécies de pássaros têm um ciclo de vida de apenas alguns anos. Se você observar os movimentos rápidos deles, parece que eles experimentam a passagem do tempo em uma escala diferente. Nós experimentamos isso em

nossas próprias vidas. A taxa de mudança e Experiência do tempo de uma criança é diferente da de um adulto. Uma nota particular: veremos que a aceleração na passagem do tempo para evolução está se movendo em uma direção diferente da do Universo do qual ela emerge.

Está na natureza do crescimento exponencial que os eventos se desenrolam de forma extremamente lenta por extremamente longos períodos de tempo, mas, à medida que se passa pelo “joelho da curva”, os acontecimentos passam a se desenrolar em um ritmo cada vez mais furioso. E é isso o que iremos experimentar no século XXI.

EVOLUÇÃO: O TEMPO ACELERA

No princípio era o Verbo... E o verbo se fez carne.

João, 1: 1,14

Grande parte do universo não precisa de explicação. Os elefantes, por exemplo. Assim que as moléculas aprenderem a competir e criar outras moléculas à sua própria imagem, elefantes e coisas que lembram elefantes serão, no devido tempo, encontrados passeando pelo campo.

Peter Atkins

Quanto mais para trás você olha, mais para diante consegue ver.

Winston Churchill

Depois retornaremos ao “joelho da curva”, mas vamos mergulhar mais fundo na natureza exponencial do tempo. No século **XIX**, um conjunto de princípios unificadores denominado leis da termodinâmica⁶ foi postulado. Como o nome implica, eles lidam com a natureza dinâmica do calor e foram o primeiro grande refinamento das leis da mecânica clássica aperfeiçoada por Isaac Newton, um século antes. Enquanto Newton havia descrito um mundo de perfeição mecânica como um relógio no qual partículas e objetos de todos os tamanhos seguiam padrões altamente disciplinados e previsíveis, as leis da termodinâmica descreveram um mundo de caos. De fato, é isso o que o calor é. O calor é o movimento caótico imprevisível das partículas que compõem o mundo. Um corolário da segunda lei da termodinâmica é que, em um sistema fechado (entidades e forças em interação que não estão sujeitas a influências externas; por exemplo, o Universo), a desordem (chamada de “entropia”) aumenta. Assim,

se deixado por conta própria, um sistema como o do mundo em que vivemos se torna cada vez mais caótico. Muita gente acha que isso descreve muito bem as suas próprias vidas. Mas no século **XIX**, as leis da termodinâmica eram consideradas uma descoberta perturbadora. No começo daquele século, parecia que os princípios básicos que governavam o mundo eram compreendidos e ordenados. Havia alguns detalhes ainda por preencher, mas o quadro básico estava sob controle. A termodinâmica foi a primeira contradição a este quadro complacente. Não seria a última.

A segunda lei da termodinâmica, às vezes chamada de Lei da Entropia Crescente, parecia implicar que a emergência natural da inteligência é impossível. O comportamento inteligente é o oposto de comportamento aleatório, e qualquer sistema capaz de reações inteligentes ao ambiente precisa ser altamente ordenado. A química da vida, particularmente a vida inteligente, é composta de desenhos excepcionalmente intrincados. Do redemoinho cada vez mais caótico de partículas e energia no mundo, às vezes surgem desenhos extraordinários. Como reconciliarmos a emergência da vida inteligente com a Lei da Entropia Crescente?

Aqui, temos duas respostas. Primeira: enquanto a Lei da Entropia Crescente aparentemente contradiria o impulso de evolução, que se encaminha na direção de uma ordem cada vez mais elaborada, os dois fenômenos não são inerentemente contraditórios. A ordem da vida acontece no meio de um grande caos, e a existência de formas de vida não afeta de modo apreciável a medida de entropia no sistema maior no qual a vida evoluiu. Um organismo não é um sistema fechado. É parte de um sistema maior que chamamos de ambiente, que permanece alto em entropia. Em outras palavras, a ordem representada pela existência de formas de vida é insignificante em termos de medição geral da entropia.

Assim, enquanto o caos aumenta no Universo, é possível que processos evolucionários que criam padrões cada vez mais intrincados e ordenados existam simultaneamente.⁷ A evolução é um processo, mas não é um sistema fechado. Ela está sujeita à influência externa, e de fato se alimenta do caos no qual está incorporada. Assim, a Lei da Entropia Crescente não exclui a emergência da vida e da inteligência.

Para a segunda resposta, precisamos dar uma olhada mais de perto na evolução, pois ela foi a criadora original da inteligência.

O ritmo em aceleração exponencial da evolução

Como vocês se lembram, após bilhões de anos, um planeta sem nada de

especial chamado Terra foi formado. Alimentados pela energia do sol, os elementos formaram moléculas cada vez mais complexas. Da física, nasceu a química.

Dois bilhões de anos depois, a vida começou. Quer dizer: *padrões de matéria e energia que podiam se perpetuar e sobreviver se perpetuaram e sobreviveram*. O fato de que esta aparente tautologia passou despercebida até dois séculos atrás é, em si mesmo, notável.

Com o passar do tempo, os padrões se tornaram mais complicados do que meras cadeias de moléculas. Estruturas de moléculas executando funções distintas se organizaram em pequenas sociedades de moléculas. Da química, nasceu a biologia.

Assim, após 3,4 milhões de anos, os primeiros organismos terrestres emergiram: procariotas (criaturas unicelulares) anaeróbicas (que não requerem oxigênio), com um método rudimentar para perpetuar seus próprios desenhos. As primeiras inovações que aconteceram em seguida incluíam um sistema genético simples, a habilidade de nadar, e a fotossíntese, que montaram o cenário para os organismos mais avançados, consumidores de oxigênio. A evolução mais importante nos 2 bilhões de anos seguintes foi a genética com base em DNA que, dali em diante, orientaria e registraria o desenvolvimento evolucionário.

Uma exigência-chave para um processo evolucionário é um registro “escrito” de realização, pois senão o processo estaria condenado a sempre encontrar soluções para problemas já resolvidos. Para os primeiros organismos, o registro era escrito (incorporado) em seus corpos, codificado diretamente na química de suas estruturas celulares primitivas. Com a invenção da genética com base no DNA, a evolução havia projetado um computador digital para registrar seu trabalho manual. Esse projeto permitia Experiências mais complexas. Os agregados de moléculas chamados células se organizaram em sociedades de células com a aparência das primeiras plantas e animais multicelulares por volta de 700 milhões de anos atrás. Para os próximos 130 milhões de anos, os primeiros planos de corpos básicos dos animais modernos foram projetados, incluindo um esqueleto baseado em coluna vertebral, que forneceu aos primeiros peixes com um eficiente estilo de natação.

Então, enquanto a evolução levou bilhões de anos para projetar as primeiras células primitivas, acontecimentos relevantes começaram a ocorrer em centenas de milhões de anos, uma distinta aceleração do ritmo.⁸ Quando alguma calamidade acabou com os dinossauros, há 65 milhões de anos, os mamíferos herdaram a Terra (embora os insetos talvez discordem disso).⁹ Com a emergência dos primatas, o progresso passou então a ser medido em meras

dezenas de milhões de anos.¹⁰ Os humanoides surgiram há 15 milhões de anos, distinguindo-se por caminharem em suas patas traseiras, e agora estamos reduzidos a milhões de anos.¹¹

Com cérebros maiores, particularmente na área do córtex altamente convoluto responsável pelo pensamento racional, nossa própria espécie, *Homo sapiens*, emergiu há, talvez, 500 mil anos. *Homo sapiens* não é tão diferente de outros primatas avançados em termos de sua herança genética. O DNA deles é 98,6% idêntico ao do gorila da planície, e 97,8% idêntico ao do orangotango.¹² A história da evolução desde aquela época agora se concentra numa variante da evolução patrocinada pelos humanos: a tecnologia.

TECNOLOGIA: EVOLUÇÃO POR OUTROS MEIOS

Quando um cientista afirma que alguma coisa é possível, ele está quase certamente certo. Quando ele afirma que alguma coisa é impossível, ele está muito provavelmente errado.

A única maneira de descobrir os limites do possível é se aventurar um pouco além deles e penetrar no impossível.

Qualquer tecnologia suficientemente avançada é indistinguível de magia.

As três leis da tecnologia de Arthur C. Clarke

Uma máquina é tão distintiva, brilhante e expressivamente humana como uma sonata para violino ou um teorema euclidiano.

Gregory Vlastos

A tecnologia entra direitinho no ritmo exponencialmente acelerado da evolução. Embora não seja o único animal que use ferramentas, o *Homo sapiens* se distingue por ter criado a tecnologia.¹³ A tecnologia vai além da simples criação e do uso de ferramentas. Ela envolve um registro da fabricação de ferramentas e uma progressão na sofisticação de ferramentas. Requer invenção e é, em si própria, uma continuação da evolução por outros meios. O “código genético” do processo evolucionário da tecnologia é o registro mantido pela espécie que fabrica as ferramentas. Assim como o código genético das primeiras formas de vida era simplesmente a composição química dos organismos propriamente ditos, o registro escrito das primeiras ferramentas consistia das próprias ferramentas. Mais tarde, os “genes” da evolução tecnológica evoluíram para registros utilizando linguagem escrita, e são, hoje, com frequência,

armazenados em bancos de dados de computadores. No fim das contas, a tecnologia propriamente dita criará nova tecnologia. Mas estamos nos adiantando.

Nossa história está agora marcada em dezenas de milhares de anos. Existiram diversas subespécies do *Homo sapiens*. O *Homo sapiens neanderthalensis* emergiu por volta de 100 mil anos atrás, na Europa e no Oriente Médio, e depois desapareceu misteriosamente entre 35 e 40 mil anos atrás. Apesar da imagem bruta deles, os neandertais criaram uma cultura intensa que incluía ritos funerários elaborados: enterrar os mortos com ornamentos, incluindo flores. Não temos certeza do que aconteceu com os nossos primos *Homo sapiens*, mas eles aparentemente entraram em conflito com nossos próprios ancestrais imediatos *Homo sapiens sapiens*, que emergiram há cerca de 90 mil anos. Diversas espécies e subespécies de humanoides iniciaram a criação da tecnologia. A mais inteligente e agressiva dessas subespécies foi a única a sobreviver. Isso estabeleceu um padrão que se repetiria ao longo de toda a história humana: o grupo mais avançado tecnologicamente acaba se tornando o dominante. Essa tendência pode não ser um bom augúrio quando máquinas inteligentes nos ultrapassarem em inteligência e sofisticação tecnológica no século XXI.

Nossa subespécie *Homo sapiens sapiens* ficou, portanto, sozinha entre os humanoides por volta de 40 mil anos atrás. Nossos antepassados já haviam herdado das primeiras espécies e subespécies hominídeas inovações, como o registro de acontecimentos em paredes de cavernas, arte pictórica, música, dança, religião, linguagem avançada, fogo e armas. Por dezenas de milhares de anos, os humanos haviam criado ferramentas afiando um lado de uma pedra. Nossa espécie levou dezenas de milhares de anos para perceber que, afiando ambos os lados, a ponta afiada resultante forneceria uma ferramenta muito mais eficiente. Entretanto, um ponto significativo é que essas inovações ocorreram, e perduraram. Nenhum outro animal que utilize ferramentas na Terra demonstrou a habilidade de criar e reter inovações em seu uso de ferramentas.

O outro ponto significativo é que a tecnologia, assim como a evolução de formas de vida que lhe deu origem, é inerentemente um processo em aceleração. As fundações da tecnologia como criar uma ponta afiada de uma pedra levaram éons para ser aperfeiçoadas, embora, para a tecnologia criada por humanos, éons signifiquem milhares de anos, e não os bilhões de anos que a evolução das formas de vida exigiu para começar.

Como a evolução das formas de vida, o ritmo da tecnologia acelerou grandemente ao longo do tempo.¹⁴ O progresso da tecnologia no século XIX, por exemplo, excedeu enormemente o dos séculos anteriores, com a construção de

canais e grandes navios, o advento das estradas pavimentadas, a expansão da malha ferroviária, o desenvolvimento do telégrafo, e a invenção da fotografia, da máquina de costura, da máquina de escrever, do telefone, do fonógrafo, do cinema, do automóvel, e, claro, da lâmpada elétrica de Thomas Edison. O crescimento exponencial contínuo da tecnologia, nas primeiras duas décadas do século **XX**, foi igual ao de todo o século **XIX**. Hoje, temos grandes transformações em apenas alguns anos. Como um de muitos exemplos, a mais recente revolução nas comunicações a World Wide Web não existia até alguns anos atrás.

O QUE É TECNOLOGIA?

Como tecnologia é a continuação da evolução por outros meios, ela compartilha o fenômeno de um ritmo exponencialmente acelerado. A palavra deriva do grego *tekhné*, que significa "ofício" ou "arte", e *logia*, que significa "estudo de". Portanto, uma interpretação da tecnologia é o estudo de fabricação, no qual a fabricação se refere à moldagem de recursos para uma finalidade prática. Uso o termo *recursos* em vez de *materiais* porque a tecnologia se estende à moldagem de recursos não materiais como informação.

Tecnologia é muitas vezes definida como a criação de ferramentas para se obter controle sobre o ambiente. Entretanto, esta definição não é inteiramente suficiente. Os humanos não estão sozinhos no uso ou sequer na criação de ferramentas. Orangotangos no pântano de Suaq Balimbing, em Sumatra, fazem ferramentas com varas compridas para quebrar ninhos de cupins. Corvos fazem ferramentas com gravetos e folhas. A formiga cortadeira mistura folhas secas com sua saliva para criar uma pasta. Crocodilos usam raízes de árvores para ancorar presas mortas.¹⁵

O que é exclusivamente humano é a aplicação de conhecimento registrado para a fabricação de ferramentas. A base de conhecimento representa o código genético para a tecnologia que evolui. E, com a evolução da tecnologia, o meio de registrar essa base de conhecimento também evoluiu, desde as tradições orais da Antiguidade até os diários de projetos manuscritos dos artesãos do século XIX até os bancos de dados de design assistidos por computador dos anos 1990.

A tecnologia também implica uma transcendência dos materiais utilizados para abarcá-la. Quando os elementos de uma invenção são montados justo da maneira certa, eles produzem um efeito encantador, que vai além de suas meras partes. Quando Alexander Graham Bell, acidentalmente, conectou por fio dois tambores móveis e solenóides (núcleos de metal com fios enrolados em seu redor), em 1875, o resultado transcendeu os materiais com os quais ele estava trabalhando. Pela primeira vez, uma voz humana foi transportada, ao que parecia magicamente, para um local remoto. A maioria das montagens é apenas isso: montagens aleatórias. Mas, quando materiais e, no caso da tecnologia moderna, a informação são montados da maneira certa, ocorre a transcendência. O objeto montado se torna bem maior do que a soma de suas partes.

O mesmo fenômeno da transcendência acontece na arte, que pode ser considerada adequadamente outra forma de tecnologia humana. Quando madeira, vernizes e cordas são reunidos da maneira correta, o resultado é maravilhoso: um violino, um piano. Quando um dispositivo desses é manipulado da maneira correta, existe uma magia de outra espécie: música. A música vai além do mero som. Ela evoca uma resposta cognitiva, emocional, talvez espiritual no ouvinte, outra forma de transcendência. Todas as artes compartilham o mesmo objetivo: comunicação entre o artista e o público. A comunicação não é de dados em estado bruto, mas sim dos mais importantes itens no jardim da fenomenologia: sentimentos, ideia, Experiências, desejos. O significado grego de *tecnologia* inclui arte como uma manifestação-chave da tecnologia.

A linguagem é outra forma de tecnologia criada pelo homem. Uma das primeiras aplicações da tecnologia é a comunicação, e a linguagem fornece a base para a comunicação do *Homo sapiens*. A comunicação é uma habilidade fundamental de sobrevivência. Ela permitiu que famílias e tribos humanas desenvolvessem estratégias cooperativas para superar obstáculos e adversários. Outros animais se comunicam. Macacos usam grunhidos e gestos elaborados para comunicar uma série de mensagens. Abelhas executam danças intrincadas em um padrão que desenha o número oito para comunicar onde podem ser encontrados depósitos de néctar. Fêmeas de sapos na Malásia fazem danças tipo sapateado para sinalizar sua disponibilidade. Caranguejos acenam suas garras de um jeito para alertar adversários, mas usam um ritmo diferente para fazer a corte.¹⁶ Mas estes métodos não parecem evoluir, não além da costumeira evolução com base em DNA. Estas espécies não têm meios de registrar seus meios de comunicação, e, então, os métodos permanecem estáticos de uma geração à seguinte. Em contraste, a linguagem humana evolui, assim como todas as formas de tecnologia. Juntamente com as formas de evolução de linguagem propriamente dita, a tecnologia já forneceu meios cada vez mais aprimorados de registrar e distribuir a linguagem humana.

O *Homo sapiens* é único em seu uso e fomento de todas as formas do que considero tecnologia: arte, linguagem e máquinas, todas representando a evolução por outros meios. Entre as décadas de 1960 a 1990, houve uma ampla divulgação de que diversos primatas haviam dominado pelo menos habilidades infantis de linguagem. Os chimpanzés Lana e Kanzi apertavam sequências de botões que continham símbolos desenhados. Dizia-se que os gorilas Washoe e Koko usavam a Linguagem de Sinais Americana. Muitos linguistas eram céticos, e observaram que muitas "sentenças" primatas eram misturas de palavras, tais como "Nim come, Nim come, bebe come eu Nim, eu chiclete eu chiclete, faz cosquinha em mim, Nim brinca, você eu banana eu banana você". Mesmo que vissemos esse fenômeno de forma mais generosa, seria a exceção que confirma a regra. Esses primatas não evoluíram a linguagem cujo uso lhes foi creditado, não parecem desenvolver essas habilidades espontaneamente, e o uso que fazem dessas habilidades é muito limitado.¹⁷ Na melhor das hipóteses, eles estão participando de modo periférico no que ainda é uma invenção exclusivamente humana comunicação através do meio recursivo (auto-referente), simbólico, evolutivo chamado linguagem.

A inevitabilidade da tecnologia

Assim que a vida finca pé num planeta, podemos considerar a emergência de tecnologia como inevitável. A habilidade de expandir o alcance de suas capacidades físicas, isso para não mencionar os recursos mentais, através da tecnologia, é obviamente utilizada para a sobrevivência. A tecnologia permitiu que nossa subespécie dominasse seu nicho ecológico. A tecnologia requer dois atributos de seu criador: inteligência e a habilidade física de manipular o ambiente. Vamos falar mais a respeito no Capítulo 4, "Uma Nova Forma de Inteligência na Terra", sobre a natureza da inteligência, mas isso representa claramente uma capacidade de usar recursos limitados de modo ideal, incluindo tempo. Esta capacidade é inerentemente útil para sobrevivência, portanto ela é favorecida. A capacidade de manipular o ambiente também é útil, caso contrário um organismo ficaria à mercê de seu ambiente em busca de segurança, comida e satisfação de suas outras necessidades. Mais cedo ou mais tarde, um organismo tem chances de emergir com ambos os atributos.

A INEVITABILIDADE DA COMPUTAÇÃO

Não é uma definição ruim do homem descrevê-lo como um animal fabricante de ferramentas. Seus primeiros aparatos para dar suporte à vida não civilizada foram ferramentas da construção mais simples e rude. Suas mais recentes realizações na substituição de maquinaria, não apenas para a habilidade da mão humana, mas para o alívio da inteligência humana, estão fundamentados no uso de ferramentas de uma ordem ainda mais elevada.

Charles Babbage

Todos os processos fundamentais que já examinamos o desenvolvimento do Universo, a evolução das formas de vida, a subsequente evolução da tecnologia progrediram de modo exponencial, uns reduzindo sua velocidade, outros a acelerando. Qual é o fio comum aqui? Por que a cosmologia reduziu exponencialmente sua velocidade, enquanto a evolução acelerou? As respostas são surpreendentes, e fundamentais para a compreensão do século XXI.

Mas, antes de eu tentar responder a essas três perguntas, vamos examinar um outro exemplo muito relevante da aceleração: o crescimento exponencial da computação.

No começo da evolução das formas de vida, órgãos especializados desenvolveram a habilidade de manter estados internos e responder de modo diferente a estímulos externos. A tendência, desde então, tem sido de sistemas nervosos cada vez mais complexos e capazes, com a habilidade de armazenar memórias extensas; reconhecer padrões em estímulos visuais, auditivos e táteis; e se engajar em níveis cada vez mais sofisticados de raciocínio. A habilidade de lembrar e de solucionar problemas computação tem constituído a ponta de lança da evolução de organismos multicelulares.

O mesmo valor da computação vale para a evolução de tecnologia criada pelo homem. Os produtos são mais úteis se puderem manter estados internos e responder de modo diferente a condições e situações que variem. Quando as máquinas passaram de meros implementos para estender o alcance e a força humanos, elas também começaram a acumular a habilidade de lembrar e executar manipulações lógicas. As simples carnes, engrenagens e alavancas da Idade Média foram reunidas no autômato elaborado do Renascimento Europeu. Calculadoras mecânicas, que surgiram pela primeira vez no século **XVII**, se tornaram cada vez mais complexas, culminando no primeiro censo automatizado dos Estados Unidos, em 1890. Os computadores desempenharam um papel crucial em pelo menos um teatro de operações da Segunda Guerra Mundial, e,

desde então, têm se desenvolvido em uma espiral que acelera cada vez mais.

O CICLO DE VIDA DE UMA TECNOLOGIA

As tecnologias lutam para sobreviver, evoluir e atravessar seu próprio e característico ciclo de vida. Podemos identificar sete estágios distintos. Durante o estágio *precursor*, os pré-requisitos de uma tecnologia existem, e sonhadores podem contemplar esses elementos se reunindo. Contudo, nós não consideramos o sonho como sendo o mesmo que invenção, mesmo que os sonhos sejam colocados no papel. Leonardo da Vinci fez desenhos convincentes de aviões e automóveis, mas não é considerado o inventor de nenhum dos dois.

O estágio seguinte, que é altamente celebrado em nossa cultura, é a *invenção*, um estágio muito breve, semelhante em alguns pontos ao processo de nascimento após um período extenso de trabalho de parto. Aqui o inventor mistura curiosidade, habilidades científicas, determinação e normalmente uma certa medida de habilidades de *showman* para dar vida a uma nova tecnologia.

O próximo estágio é o *desenvolvimento*, durante o qual a invenção é protegida e apoiada por patrocinadores financeiros (entre os quais pode estar o inventor original). Frequentemente, esse estado é mais crucial e pode envolver criações adicionais que podem ter um significado maior do que a invenção original. Muitos inventores de fundo de quintal construíram carruagens sem cavalos bem-feitas à mão, mas foi a inovação da produção em massa de Henry Ford que permitiu que o automóvel deitasse raízes e florescesse.

O quarto estágio é *maturidade*. Embora continue a evoluir, a tecnologia agora tem vida própria e se tornou uma parte independente e estabelecida da comunidade. Ela pode se tornar tão entremeada no tecido da vida cotidiana que, para muitos observadores, parece que irá durar para sempre. Isto cria um interessante drama quando o próximo estágio chega, que chamo de estágio dos *pretendentes*. Aqui uma tecnologia emergente ameaça eclipsar a tecnologia mais antiga. Seus entusiastas preveem a vitória. Embora forneça alguns benefícios evidentes, a tecnologia mais nova, quando analisada, deixa claro que não tem algum elemento-chave de funcionalidade ou qualidade. Quando ela de fato não consegue destronar a ordem estabelecida, os conservadores tecnológicos encaram isso como prova de que a abordagem original irá de fato durar para sempre.

Isto normalmente constitui uma vitória de curta duração para a tecnologia mais velha. Pouco depois, outra nova tecnologia normalmente consegue colocar a tecnologia original no estágio da *obsolescência*. Nesta parte do ciclo de vida, a tecnologia vive seus anos de velhice em um declínio gradual, seu propósito e sua funcionalidade originais agora substituídos por um concorrente mais flexível. Este estágio, que pode levar de 5% a 10% do ciclo de vida, finalmente cede à *antiguidade* (exemplos hoje: o cavalo e a charrete, o harpsicórdio, a máquina de escrever manual e a calculadora eletromecânica).

Para ilustrar isto, lembre-se do disco fonográfico. Em meados do século XIX, existiram diversos precursores, incluindo o fonautógrafo de Édouard-Léon Scott de Martinville, dispositivo que gravava vibrações sonoras como padrão impresso. Mas foi Thomas Edison que, em 1877, reuniu todos os elementos e inventou o primeiro dispositivo que podia gravar e reproduzir sons. Refinamentos posteriores foram necessários para que o fonógrafo se tornasse comercialmente viável. Ele se tornou uma tecnologia inteiramente madura em 1948, quando a Columbia introduziu o disco de long-playing (LP) de 33 revoluções por minuto (rpm) e a RCA Victor introduziu o disco pequeno de 45 rpm. O pretendente foi a fita cassete, introduzida nos anos 1960 e popularizada durante a década de 1970. Os primeiros entusiastas previram que seu tamanho pequeno e capacidade de ser regravável tornaria obsoleto o disco relativamente grande e que sofria arranhões com facilidade.

Apesar desses óbvios benefícios, as fitas cassete não têm acesso aleatório (a capacidade de tocar seleções em uma ordem desejada) e estão sujeitas às suas próprias formas de distorção e falta de fidelidade. No final da década de 1980 e começo da de 1990, o compact disc (CD) digital desferiu o golpe de misericórdia. Com o CD fornecendo tanto acesso aleatório quanto um nível de qualidade próximo aos limites do sistema auditivo humano, o disco fonográfico entrou no estágio de obsolescência na primeira metade dos anos 1990. Embora ainda produzido em pequena quantidade, a tecnologia que Edison criou

mais de um século atrás está agora se aproximando da antiguidade.

Outro exemplo é o livro impresso, uma tecnologia um tanto madura hoje em dia. Ele está agora no estado dos pretendentes, com o livro "virtual", baseado em software, como o pretendente. Sem a resolução, o contraste, a falta

do virar das páginas e outras qualidades visuais do papel e da tinta, a atual geração do livro virtual não tem a capacidade de deslocar as publicações de papel. Mas essa vitória do livro de papel terá vida curta, pois as futuras gerações de displays de computador conseguirão fornecer uma alternativa completamente satisfatória ao papel.

A emergência da Lei de Moore

Gordon Moore, inventor do circuito integrado e, posteriormente, presidente da Intel, observou, em 1965, que a área de superfície de um transistor (conforme embutida em um circuito integrado) estava sendo reduzida por, aproximadamente, 30% a cada 12 meses. Em 1975, foi amplamente reportado que ele revisou essa observação para 18 meses. Moore afirma que sua atualização de 1975 foi para 24 meses, e isso parece ser mais adequado para os dados existentes.

A LEI DE MOORE EM AÇÃO

Ano	
Transistores no chip de computador mais recente da Intel*	
	1972
3.500	
	1974
6.000	
	1978
29.000	
	1982
134.000	

1985

275.000

1989

1.200.000

1993

3.100.000

1995

5.500.000

1997

7.500.000

**Consumer Electronics Manufacturers Association*

O resultado é que, a cada dois anos, você pode colocar duas vezes mais transistores num circuito integrado. Isso duplica tanto o número de componentes em um chip quanto sua velocidade. Já que o custo de um circuito integrado é razoavelmente constante, a implicação é que, a cada dois anos, você obtém duas vezes mais circuitos rodando ao dobro da velocidade pelo mesmo preço. Para muitas aplicações, esta é uma eficiente quadruplicação do valor. A observação se mantém verdadeira para todos os tipos de circuito, de chips de memória até processadores de computador.

Essa inteligente observação se tornou conhecida como a Lei de Moore dos Circuitos Integrados, e o fenômeno notável da lei tem orientado a aceleração da informática nos últimos 40 anos. Mas por quanto tempo mais isso pode continuar? As empresas fabricantes de chips já expressaram sua confiança em mais 15 ou 20 anos de Lei de Moore continuando sua prática de uso de resoluções cada vez mais altas de litografia ótica (um processo eletrônico semelhante à impressão fotográfica) para reduzir o tamanho medido hoje em milionésimos de metro de transistores e outros componentes fundamentais.¹⁸ Mas, a essa altura depois de quase 60 anos -, este paradigma será quebrado. Os

isoladores de transistores terão, então, apenas alguns átomos de espessura, e a abordagem convencional de encolhê-los não irá funcionar.

E o que acontecerá então?

Primeiro, observamos que o crescimento exponencial da computação não começou com a Lei de Moore dos Circuitos Integrados. Na figura a seguir, “O Crescimento Exponencial da Computação, 1900-1998”,¹⁹, plotei 49 máquinas computacionais notáveis ao longo do século XX em uma planilha exponencial, na qual o eixo vertical representa potências de dez em velocidade de computador por custo unitário (conforme medido no número de “cálculos por segundo”, que podem ser adquiridos por mil dólares). Cada ponto no gráfico representa uma das máquinas. As primeiras cinco máquinas usavam tecnologia mecânica, seguidas por três computadores eletromecânicos (à base de relés), seguidos por 11 máquinas com válvulas a vácuo, seguidas por 12 máquinas usando transistores discretos. Somente os últimos 18 computadores usavam circuitos integrados.

Então tracei uma curva para os pontos, chamada polinômio de quarta ordem, que permite até quatro curvas. Em outras palavras, tentei não encaixar uma linha reta até os pontos, apenas a curva de quarta ordem mais próxima. Mas uma linha reta está próxima do que consegui. Uma linha reta em um gráfico exponencial significa crescimento exponencial. Um exame cuidadoso da tendência demonstra que a curva está, na verdade, se dobrando ligeiramente para cima, indicando um pequeno crescimento exponencial na taxa de crescimento exponencial. Isto pode ser o resultado da interação de duas diferentes tendências exponenciais, conforme discutirei no Capítulo 6, “Construindo Novos Cérebros”. Ou poderá de fato haver dois níveis de crescimento exponencial. Mas, mesmo que aceitemos a visão mais conservadora de que só existe um nível de aceleração, podemos ver que o crescimento exponencial da computação não começou com a Lei de Moore dos Circuitos Integrados, mas remonta ao advento da computação elétrica, no início do século XX.

Computadores Eletromecânicos (Baseados em Relés)

6. 1939	Zuse 2
7. 1940	Calculadora de Bell Modelo 1
8. 1941	Zuse 3

Computadores com Válvulas a Vácuo

9. 1943	Colossus
10. 1946	ENIAC

Computadores com Válvulas a Vácuo

11. 1948	IBM SSEC
12. 1949	BINAC
13. 1949	EDSAC
14. 1951	Univac I
15. 1953	Univac 1103
16. 1953	IBM 701
17. 1954	EDVAC
18. 1955	Whirlwind
19. 1955	IBM 704

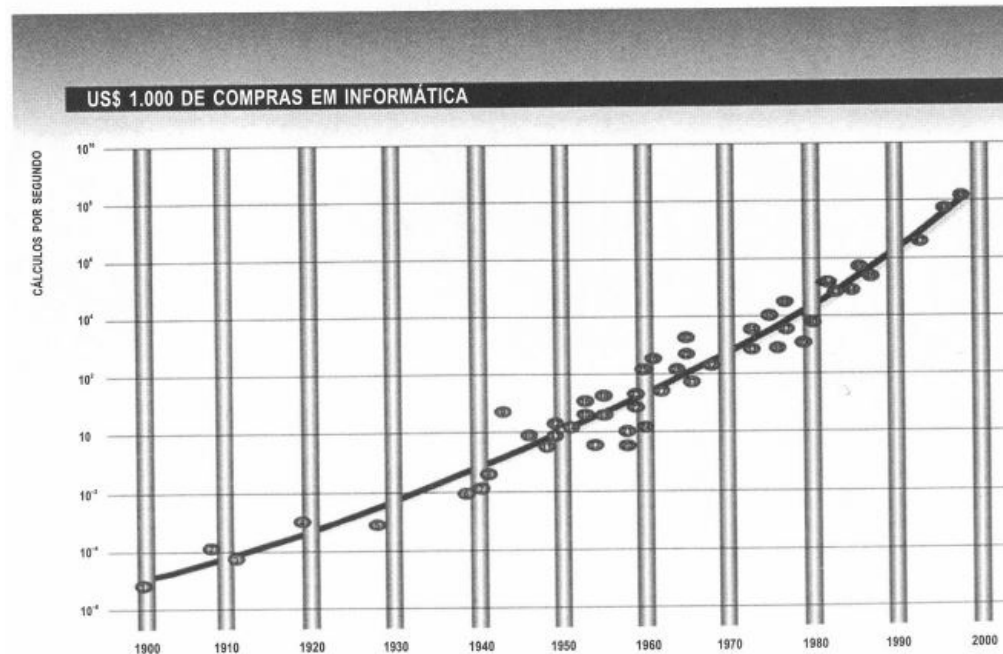
Computadores de Transistores Discretos

20. 1958	Datamatic 1000
21. 1958	Univac II
22. 1959	Mobidic
23. 1959	IBM 7090
24. 1960	IBM 1620
25. 1960	DEC PDP-1
26. 1961	DEC PDP-4
27. 1962	Univac III
28. 1964	CDC 6600
29. 1965	IBM 1130
30. 1965	DEC PDP-8
31. 1966	IBM 360 Modelo 75

Computadores de Circuito Integrado

32. 1968	DEC PDP-10
33. 1973	Intellec-8
34. 1973	Data General Nova
35. 1975	Altair
36. 1976	DEC PDP-11 Modelo 70
37. 1977	Cray 1
38. 1977	Apple II
39. 1979	DEC VAX 11 Modelo 780
40. 1980	Sun-1
41. 1982	IBM PC
42. 1982	Compaq Portable
43. 1983	IBM AT-80286
44. 1984	Apple Macintosh
45. 1986	Compaq Deskpro 386
46. 1987	Apple Mac II
47. 1993	Pentium PC
48. 1996	Pentium PC
49. 1998	Pentium II PC

O CRESCIMENTO EXPONENCIAL DA COMPUTAÇÃO, 1900-1998



Na década de 1980, um grupo de observadores, entre os quais o professor Hans Moravec, da Carnegie Mellon University, David Waltz, da Nippon Electric Company, e eu mesmo, observou que os computadores estavam crescendo exponencialmente em termos de potência muito antes da invenção do circuito integrado, em 1958, ou mesmo antes do transistor, em 1947.²⁰ A velocidade e a densidade da computação têm dobrado a cada três anos (no começo do século XX) para um ano (no final do século XX), independentemente do tipo de hardware utilizado. Notavelmente, esta “Lei Exponencial da Computação” tem se mantido em vigor por, pelo menos, um século, desde a tecnologia de computação elétrica com base em cartões mecânicos usada no censo dos EUA de 1890, até os computadores com relés que quebraram o código nazista Enigma, até os computadores valvulados dos anos 1950, até as máquinas com transistores dos anos 1960, e a todos os das gerações de circuitos integrados das últimas quatro décadas. Os computadores são cerca de cem milhões de vezes mais poderosos para o mesmo custo unitário do que eram meio século atrás. Se a indústria automobilística tivesse feito tanto progresso nos últimos 50 anos, um carro hoje custaria um centésimo de centavo e correria mais rápido que a velocidade da luz.

Como ocorre com qualquer fenômeno de crescimento exponencial, os aumentos são tão lentos que, no começo, são praticamente impossíveis de reparar. Apesar de muitas décadas de progressos desde que o primeiro equipamento de calcular elétrico foi utilizado no censo de 1890, não foi senão em meados da década de 1960 que este fenômeno foi sequer notado (embora Alan Turing tivesse tido um vislumbre disso em 1950). Mesmo então, ele foi apreciado apenas por uma pequena comunidade de engenheiros e cientistas de computação. Hoje, basta dar uma olhada nos anúncios de computadores pessoais ou nas propagandas de brinquedos nos jornais da sua cidade para ver os grandes aumentos no preço dos processadores, praticamente mensais hoje em dia.

Então a Lei de Moore dos Circuitos Integrados não foi o primeiro, mas o quinto paradigma a continuar o crescimento exponencial da computação, hoje centenário. Cada novo paradigma chegou quando era necessário. Isto sugere que o crescimento exponencial não irá parar com o fim da Lei de Moore. Mas a resposta à nossa pergunta sobre a continuação do crescimento exponencial da computação é fundamental para nossa compreensão do século XXI. Então, para obtermos uma compreensão mais profunda da verdadeira natureza desta tendência, precisamos voltar às nossas primeiras perguntas sobre a natureza exponencial do tempo.

A LEI DO TEMPO E DO CAOS

Será o fluxo do tempo algo real, ou nosso senso do tempo poderia estar simplesmente transmitindo uma ilusão que oculta o fato de que o que é real é apenas uma vasta coleção de momentos?

Lee Smolin

O tempo é a maneira de a natureza impedir que tudo aconteça ao mesmo tempo.

Grafite urbano

As coisas estão mais parecidas com o que são agora do que jamais foram antes.

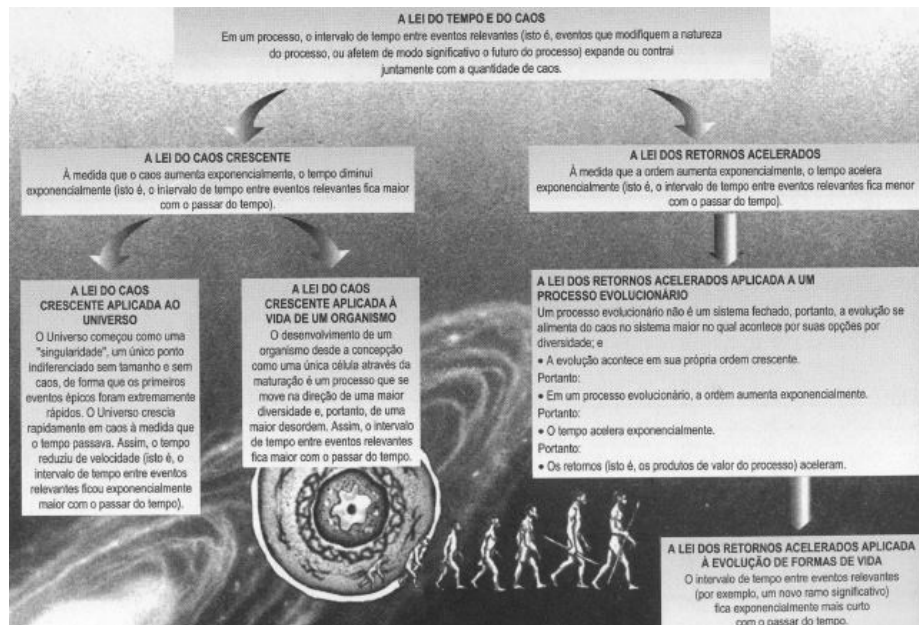
Dwight Eisenhower

Considere as seguintes tendências exponenciais.

- O ritmo exponencialmente *cada vez mais lento* que o Universo seguiu, com três épocas no primeiro bilionésimo de segundo, com eventos relevantes posteriores levando bilhões de anos para acontecer.
- O ritmo exponencialmente *cada vez mais lento* no desenvolvimento de um organismo. No primeiro mês após a concepção, cresce um corpo, uma cabeça, até mesmo uma cauda. Cresce um cérebro nos primeiros dois meses. Após deixarmos nossos confins maternos, nossa maturação tanto física quanto mental é rápida no começo. No primeiro ano, aprendemos formas básicas de mobilidade e comunicação. Experimentamos marcos a aproximadamente cada mês. Posteriormente, eventos-chave começam a acontecer cada vez mais lentamente, levando anos e, depois, décadas.
- O ritmo exponencialmente *cada vez mais rápido* da evolução das formas de vida na Terra.
- O ritmo exponencialmente *cada vez mais rápido* da evolução da tecnologia criada pelo homem, que entrou no ritmo da evolução das formas de vida.
- O *crescimento* exponencial da computação. Repare que o crescimento exponencial de um processo ao longo do tempo é apenas outra forma de expressar um ritmo exponencialmente cada vez mais rápido. Por exemplo, foram necessários 90 anos para a obtenção do primeiro MIP Um Milhão de Instruções por Segundo [*Million Instructionsper Second*] por mil

dólares.

Em um processo, o intervalo de tempo entre eventos relevantes (isto é, eventos que modifiquem a natureza do processo, ou afetem de modo significativo o futuro do processo) expande ou contrai juntamente com a quantidade de caos. Agora, adicionamos um **MIP** adicional ao custo de mil dólares todos os dias. A taxa de inovação geral está obviamente acelerando também.





- A Lei de Moore dos Circuitos Integrados. Como observei, este foi o quinto paradigma a atingir o crescimento exponencial da computação.

Muitas perguntas vêm à mente:

Qual é o fio comum entre essas variadas tendências exponenciais?

Por que alguns desses processos aceleram, enquanto outros diminuem de velocidade?

E o que isso nos diz sobre a continuação do crescimento exponencial da computação quando a Lei de Moore morrer?

Será que a Lei de Moore é apenas um conjunto de expectativas e objetivos da indústria, como Randy Isaac, chefe de ciência básica da IBM, argumenta? Ou será parte de um fenômeno mais profundo, que vai muito além da fotolitografia de circuitos integrados?

Depois de pensar sobre a relação entre essas tendências aparentemente diversas por vários anos, o surpreendente tema comum se tornou aparente para mim.

O que determina se o tempo acelera ou diminui? A resposta consistente é que *o tempo se move em relação à quantidade de caos*. Podemos definir a Lei do

Tempo e do Caos da seguinte maneira:

A Lei do Tempo e do Caos: em um processo, o intervalo de tempo entre eventos relevantes (isto é, eventos que modifiquem a natureza do processo, ou afetem de modo significativo o futuro do processo) expande ou contrai juntamente com a quantidade de caos.

Quando existe muito caos em um processo, mais tempo leva para que eventos significativos aconteçam. Por outro lado, à medida que a ordem aumenta, os períodos de tempo entre eventos relevantes diminuem.

Aqui precisamos tomar cuidado em nossa definição de caos. Ela se refere à quantidade de eventos desordenados (ou seja, aleatórios) que são *relevantes para o processo*. Se estivermos lidando com o movimento aleatório de átomos e moléculas em um gás ou líquido, então o calor é uma medida apropriada. Se estivermos lidando com o processo de evolução de formas de vida, então o caos representa os eventos imprevisíveis encontrados por organismos, e as mutações aleatórias que são introduzidas no código genético.

Vejamos como a Lei do Tempo e do Caos se aplica aos nossos exemplos. Se o caos estiver aumentando, a Lei do Tempo e do Caos implica a seguinte sublei:

A Lei do Caos Crescente: à medida que o caos aumenta exponencialmente, o tempo diminui exponencialmente (isto é, o intervalo de tempo entre eventos relevantes fica maior com o passar do tempo).

Isto se encaixa bastante bem no Universo. Quando todo o Universo era apenas uma singularidade “nua” um único ponto perfeitamente ordenado no espaço e no tempo -, não havia caos e eventos conspícuos aconteciam quase que imediatamente; à medida que o Universo crescia de tamanho, o caos aumentava exponencialmente, e também a escala de tempo para mudanças épicas. Agora, com bilhões de galáxias espalhadas por trilhões de anos-luz de espaço, o Universo contém vastas extensões de caos, e de fato requer bilhões de anos para organizar tudo a fim de que uma mudança de paradigma possa acontecer.

Vemos um fenômeno similar na progressão da vida de um organismo. Nós

começamos como uma única célula fertilizada; portanto, existe apenas um caos limitado ali. Terminando com trilhões de células, o caos se expande enormemente. Finalmente, no final de nossas vidas, nossos desenhos se deterioram, engendrando uma aleatoriedade ainda maior. Então, o período de tempo entre eventos biológicos relevantes fica maior à medida que envelhecemos. E isso é de fato o que vivenciamos.

Mas é a espiral oposta da Lei do Tempo e do Caos que é a mais importante e relevante para nossos propósitos. Considere a sublei inversa, que chamo de Lei dos Retornos Acelerados:

A Lei dos Retornos Acelerados: à medida que a ordem aumenta exponencialmente, o tempo acelera exponencialmente (isto é, o intervalo de tempo entre eventos relevantes fica menor com o passar do tempo).

A Lei dos Retornos Acelerados (para distingui-la de uma lei mais conhecida na qual os retornos diminuem) se aplica especificamente a processos evolucionários. Em um processo evolucionário, é a ordem o oposto do caos que está aumentando. E, como já vimos, o tempo acelera.

Desdesordem

Observei que o conceito de caos na Lei do Tempo e do Caos é enganoso. O caos sozinho não é suficiente: a desordem para nossos propósitos requer aleatoriedade, que é relevante para o processo com o qual estamos preocupados. O oposto de desordem que chamei de “ordem” na Lei dos Retornos Acelerados é ainda mais enganoso.

Vamos começar com nossa definição de desordem e fazer o caminho inverso. Se a desordem representa uma sequência aleatória de eventos, então o oposto de desordem deve implicar “não aleatório”. E se aleatório significa imprevisível, então poderíamos concluir que ordem significa previsível. Mas isso estaria errado.

Pegando emprestado uma página da teoria da informação,²¹ considere a diferença entre informação e ruído. Informação é uma sequência de dados que fazem sentido em um processo, como o código de DNA de um organismo, ou os bits em um programa de computador. O ruído, por outro lado, é uma sequência aleatória. *Nem ruído nem informação são previsíveis.* O ruído é inerentemente

imprevisível, mas não carrega informações. A informação, entretanto, também é imprevisível. Se conseguirmos prever dados futuros a partir de dados passados, então esses dados futuros param de ser informação. Por exemplo, considere uma sequência que simplesmente alterna entre zero e um (01010101...). Uma sequência desse tipo é certamente ordenada, e muito previsível. Especificamente por ser tão previsível, não a consideramos portadora de informação, além do primeiro par de bits.

Assim, a ordenação não constitui ordem porque ordem requer informação. Então, talvez eu devesse utilizar a palavra *informação* em vez de *ordem*. Entretanto, a informação sozinha não é suficiente para nossos propósitos também. Considere um catálogo telefônico. Ele certamente representa um bocado de informação, e também alguma ordem. Mas, se dobrássemos o tamanho do catálogo, teremos aumentado a quantidade de dados, porém não teremos atingido um nível mais profundo de ordem.

A ordem, então, é informação que serve a um objetivo. A medida de ordem é a medida de quão bem a informação serve ao objetivo. Na evolução das formas de vida, o objetivo é sobreviver. Em um algoritmo evolucionário (um programa de computador que simula a evolução para solucionar um problema) aplicado a, digamos, investir no mercado de ações, o objetivo é ganhar dinheiro. Simplesmente ter mais informações não necessariamente resulta em uma melhor adequação. Uma solução superior para um problema pode muito bem envolver menos dados.

O conceito de “complexidade” tem sido usado recentemente para descrever a natureza das informações criadas por um processo evolucionário. A complexidade é uma adequação razoavelmente boa do conceito de ordem que estou descrevendo. Afinal, os desenhos criados pela evolução das formas de vida parecem ter se tornado mais complexos ao longo do tempo. Entretanto, a complexidade também não é um ajuste perfeito. As vezes, uma ordem mais profunda uma melhor adequação a um objetivo é atingida por meio de simplificação, e não de mais incrementos na complexidade. Como Einstein disse, “tudo deveria ser tornado tão simples quanto possível, mas não mais simples.” Por exemplo, uma nova teoria que amarre ideias aparentemente disparatadas em uma teoria mais ampla, mais coerente, reduz a complexidade, mas, mesmo assim, pode aumentar a “ordem para um objetivo” que estou descrevendo. A evolução tem demonstrado, entretanto, que a tendência geral na direção de uma ordem maior geralmente resulta em maior complexidade.²²

Assim, aprimorar uma solução para um problema que pode aumentar ou diminuir a complexidade aumenta a ordem. Agora, isso deixa apenas a questão de definir o problema. E, como veremos, definir um problema bem é, muitas

vezes, a chave para encontrar sua solução.

A Lei da Entropia Crescente versus o crescimento da ordem

Outra consideração é como a Lei do Tempo e do Caos está relacionada à segunda lei da termodinâmica. Ao contrário da segunda lei, a Lei do Tempo e do Caos não está necessariamente preocupada com um sistema fechado. Ela lida, ao invés disso, com um processo. O Universo é um sistema fechado (não sujeito a influências externas, já que nada existe fora do Universo), então, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, o caos aumenta e o tempo diminui de velocidade. Em contraste, a evolução é precisamente um sistema que não é fechado. Ela acontece no meio de um grande caos, e de fato *depende da desordem em seu meio, do qual retira suas opções de diversidade*. E, a partir dessas opções, um processo evolucionário vai reduzindo constantemente suas opções para criar uma ordem ainda maior. Até mesmo uma crise que parece introduzir uma nova e significativa fonte de caos provavelmente vai terminar aumentando aprofundando a ordem criada por um processo evolucionário. Por exemplo, considere o asteroide que se acredita ter matado grandes organismos como os dinossauros, há 65 milhões de anos. A queda desse asteroide subitamente criou um grande aumento no caos (e muita poeira também). Mas parece que isso apressou a ascensão dos mamíferos no nicho previamente dominado por grandes répteis e acabou levando à emergência de uma espécie criadora de tecnologia. Quando a poeira assentou (literalmente!), a crise do asteroide havia aumentado a ordem.

Como apontei antes, apenas uma pequena fração da matéria do Universo, ou mesmo num planeta que tenha vida e tecnologia como a Terra, pode ser considerado como parte das invenções da evolução. Assim, a evolução não contradiz a Lei da Entropia Crescente. De fato, ela depende dessa lei para fornecer um interminável suprimento de opções.

Como observei, dada a emergência da vida, a emergência de uma espécie criadora de tecnologia e da tecnologia é inevitável. A tecnologia é a continuação da evolução por outros meios, e é ela própria um processo evolucionário. Então, ela também acelera.

Uma das razões primárias pelas quais a evolução de formas de vida ou da tecnologia se acelera é que ela *se alimenta do crescimento cada vez maior de sua própria ordem*. Inovações criadas pela evolução incentivam e capacitam uma evolução mais rápida. No caso da evolução de formas de vida, o exemplo mais notável é o DNA, que fornece uma transcrição gravada e protegida do desenho

da vida, a partir da qual se podem lançar experimentos futuros.

No caso da evolução da tecnologia, métodos humanos cada vez mais desenvolvidos de gravar informações fomentaram ainda mais a tecnologia. Os primeiros computadores foram projetados em papel e montados à mão. Hoje, eles são projetados em estações de trabalho de computadores e com os próprios computadores trabalhando muitos detalhes do design da próxima geração, e são então produzidos em fábricas inteiramente automatizadas com orientação humana, mas intervenção direta limitada.

O processo evolucionário da tecnologia busca aprimorar capacidades de modo exponencial. Inovadores buscam aprimorar coisas por múltiplos. A inovação é multiplicativa, não aditiva. A tecnologia, como qualquer processo evolucionário, alimenta a si mesma. Este aspecto continuará a acelerar quando a tecnologia propriamente dita assumir o controle completo de sua própria progressão.

Podemos, portanto, concluir o seguinte, com relação à evolução de formas de vida e da tecnologia:

A Lei dos Retornos Acelerados aplicada a um processo evolucionário:

- *um processo evolucionário não é um sistema fechado; portanto, a evolução se alimenta do caos no sistema maior no qual acontece por suas opções por diversidade; e*
- *a evolução acontece em sua própria ordem crescente.*

Portanto:

- *em um processo evolucionário, a ordem aumenta exponencialmente.*

Portanto:

- *o tempo acelera exponencialmente.*

Portanto:

- *os retornos (isto é, os produtos de valor do processo) aceleram.*

O fenômeno da diminuição e da aceleração da velocidade do tempo ocorre simultaneamente. Cosmologicamente falando, o Universo continua a diminuir a velocidade. A evolução, que agora é mais fácil de ser observada na forma de tecnologia criada por humanos, continua a se acelerar. Estes são os dois lados duas espirais entrelaçadas da Lei do Tempo e do Caos.

A espiral em que estamos mais interessados a Lei dos Retornos Acelerados nos dá uma ordem cada vez maior na tecnologia, que inevitavelmente leva à

emergência da computação. A computação é a essência da ordem. Ela fornece a capacidade para que uma tecnologia responda de forma variável e apropriada ao seu ambiente para executar sua missão. Assim, a tecnologia computacional é também um processo evolucionário, e também se alimenta de seu próprio progresso. O tempo para realizar um objetivo fixo fica exponencialmente menor com o passar do tempo (por exemplo, 90 anos para o primeiro **MIP** por mil dólares *versus* um dia para um **MIP** adicional hoje). O fato de que o poder da computação cresce exponencialmente ao longo do tempo é apenas outra maneira de se dizer a mesma coisa.

Então onde isso deixa a Lei de Moore?

Ela ainda a deixa morta lá pelo ano de 2020. A Lei de Moore apareceu em 1958, justo quando era necessária, e terá cumprido seus 60 anos de serviço por volta de 2018, um período um tanto longo de tempo para um paradigma hoje em dia. Ao contrário da Lei de Moore, entretanto, a Lei dos Retornos Acelerados não é uma metodologia temporária. É um atributo básico da natureza do tempo e do caos uma sublei da Lei do Tempo e do Caos e descreve um amplo espectro de fenômenos e tendências aparentemente divergentes. De acordo com a Lei dos Retornos Acelerados, outra tecnologia computacional continuará de onde a Lei de Moore tiver parado, sem perder o ritmo.

A maioria das tendências exponenciais dá com os burros n'água... Mas esta aqui, não

Uma crítica frequente de previsões do futuro é que elas confiam em extrapolações insensatas de tendências atuais, sem levar em conta as forças que possam terminar ou alterar essa tendência. Essa crítica é particularmente relevante no caso de tendências exponenciais. Um exemplo clássico é uma espécie que encontra por acaso um novo habitat hospitaleiro, talvez transplantado ali por intervenção humana (coelhos na Austrália, digamos). Seus números se multiplicam exponencialmente por algum tempo, mas esse fenômeno rapidamente termina quando a população em explosão se depara com um novo

predador ou os limites de seu ambiente. Da mesma forma, o crescimento geométrico populacional de nossa própria espécie tem sido uma fonte de ansiedade, mas fatores sociais e econômicos em alteração, incluindo uma crescente prosperidade, reduziram enormemente esta expansão nos últimos anos, mesmo em países em desenvolvimento.

Com base nisto, alguns observadores têm sido rápidos em prever o fim desse crescimento exponencial da computação.

A CURVA DE APRENDIZADO: LESMA VERSUS HUMANO

A "curva de aprendizado" descreve o domínio de uma habilidade ao longo do tempo. Quando uma entidade lesma ou humano aprende uma nova habilidade, a habilidade recém-adquirida passa a se alimentar de si mesma, e assim a curva de aprendizado começa a ficar parecida com o crescimento exponencial que vemos na Lei dos Retornos Acelerados. Habilidades tendem a ter limites; então, quando uma nova especialização é dominada, a lei dos retornos diminutos entra em cena, e o crescimento no domínio se nivela. Então, a curva de aprendizado é o que chamamos de curva em S porque o crescimento exponencial, acompanhado de um nivelamento, parece um s ligeiramente inclinado para a direita.

A curva de aprendizado é notavelmente universal: a maioria das criaturas multicelulares faz isso. Lesmas, por exemplo, seguem a curva de aprendizado quando aprendem como subir uma nova árvore em busca de folhas. Os humanos, naturalmente, estão sempre aprendendo algo de novo.

Mas existe uma diferença relevante entre humanos e lesmas. Humanos são capazes de inovação, que é a criação e retenção de novas habilidades e conhecimento. Inovação é a força motivadora na Lei dos Retornos Acelerados, e elimina a parte de nivelamento da curva em s. Então a inovação transforma a curva em s em uma expansão exponencial indefinida.

Superar a curva em s é outra maneira de expressar a condição única da espécie humana. Nenhuma outra espécie parece fazer isso. Por que somos únicos desta maneira, dado que outros primatas estão tão próximos a nós em termos de similaridade genética?

A razão é que a habilidade de superar a curva em s define um novo nicho ecológico. Como aponte, havia de fato outras espécies e subespécies humanóides capazes de inovação, mas o nicho parece ter tolerado apenas um competidor sobrevivente. Mas teremos companhia no século XXI quando nossas máquinas se juntarem a nós neste nicho exclusivo.

Todavia, o crescimento previsto pela Lei dos Retornos Acelerados é uma exceção às limitações frequentemente citadas para o crescimento exponencial. Até mesmo uma catástrofe, como aparentemente aconteceu a nossos coabitantes reptilianos no final do período cretáceo, apenas pulou uma etapa do processo evolucionário, que depois recolhe os pedacinhos e continua inabalável (a menos que todo o processo seja eliminado). Um processo evolucionário acelera porque se alimenta de suas realizações passadas, que incluem melhorias em seus próprios meios para futura evolução. Na evolução de formas de vida, além do código genético com base em DNA, a inovação da reprodução sexual forneceu um meio aprimorado de fazer Experiências com diversas características dentro de uma população que, de outra forma, seria homogênea. O estabelecimento de planos de corpo básicos de animais modernos na "explosão cambriana", há cerca

de 570 milhões de anos, permitiu que a evolução se concentrasse em características de alto nível como uma função cerebral expandida. As invenções da evolução em uma era fornecem os meios, e muitas vezes a inteligência, para inovação na seguinte.

A Lei dos Retornos Acelerados se aplica igualmente ao processo evolucionário da computação, que inerentemente crescerá de modo exponencial e essencialmente sem limites. Os dois recursos de que necessita a ordem crescente da tecnologia em evolução propriamente dita e o caos do qual um processo evolucionário retira suas opções para futura diversidade não têm limites. Em última análise, a inovação necessária para futuras voltas do parafuso virá das próprias máquinas.

Como o poder da computação continuará a se acelerar depois que a Lei de Moore morrer? Estamos apenas começando a explorar a terceira dimensão em design de chips. A grande maioria dos chips de hoje é achatada, ao passo que nosso cérebro é organizado em três dimensões. Vivemos em um mundo tridimensional, então por que não utilizar a terceira dimensão? Aperfeiçoamentos em materiais semicondutores, incluindo circuitos supercondutores que não geram calor, nos permitirão desenvolver chips isto é, cubos com milhares de camadas de circuitos que, combinados com geometrias de componentes muito menores, irão melhorar o poder de computação por um fator de muitos milhões. E existem mais do que o bastante de outras novas tecnologias de computação esperando sua chance: nanotubos, óptica, cristalina, DNA e quântica (que visitaremos no Capítulo 6, “Construindo Novos Cérebros”) para manter a Lei dos Retornos Acelerados no mundo da computação por um tempo muito longo.

Uma questão planetária

A introdução da tecnologia na Terra não é meramente uma questão particular de uma das inumeráveis espécies da Terra. É um evento fulcral na história do planeta. A maior criação da evolução a inteligência humana está providenciando os meios para o próximo estágio da evolução, que é a tecnologia. A emergência da tecnologia é prevista pela Lei dos Retornos Acelerados. A subespécie *Homo sapiens sapiens* emergiu apenas dezenas de milhares de anos depois de seus antepassados humanos. De acordo com a Lei dos Retornos Acelerados, o próximo estágio da evolução deveria medir seus eventos relevantes em meros milhares de anos, rápido demais para a evolução com base no DNA. Este próximo estágio da evolução foi necessariamente criado pela inteligência

humana propriamente dita, outro exemplo do mecanismo exponencial da evolução usando suas inovações de um período (seres humanos) para criar o próximo (máquinas inteligentes).

A evolução se aproveita do grande caos em seu meio a entropia cada vez maior governada pelo reverso da Lei do Tempo e do Caos para suas opções de inovação. Esses dois fios da Lei do Tempo e do Caos o tempo exponencialmente reduzindo sua velocidade devido ao caos cada vez maior previsto pela segunda lei da termodinâmica; e o tempo exponencialmente aumentando de velocidade devido à ordem cada vez maior criada pela evolução coexistem e progridem sem limite. *Em particular, os recursos da evolução, ordem e caos, não têm restrições.* Reforço esse ponto porque ele é crucial para compreender a natureza evolucionária e revolucionária da tecnologia de computadores.

A emergência de tecnologia foi um marco na evolução da inteligência na Terra porque representou um novo meio de a evolução registrar seus desenhos. O próximo marco será a tecnologia criando sua própria próxima geração sem intervenção humana. O fato de que existe apenas um período de dezenas de milhares de anos entre esses dois marcos é outro exemplo do ritmo em aceleração exponencial que é a evolução.

O inventor do xadrez e o imperador da China

Para apreciar as implicações desta (ou de qualquer) tendência geométrica, é importante lembrar a lenda do inventor do xadrez e seu mecenas, o imperador da China. O imperador havia se apaixonado de tal forma por seu novo jogo que ofereceu a seu inventor, como recompensa, qualquer coisa que ele quisesse no reino.

Apenas um grão de arroz no primeiro quadrado, Sua Majestade.

Apenas um grão de arroz?

Sim, Sua Majestade, apenas um grão de arroz no primeiro quadrado, e dois grãos de arroz no segundo quadrado.

E isso? Um e dois grãos de arroz?

Bem, sim, e quatro grãos no terceiro quadrado, e assim por diante.

O imperador imediatamente garantiu o pedido aparentemente humilde do inventor. Uma das versões desta história conta que o imperador foi à falência porque a duplicação de grãos de arroz para cada quadrado acabou chegando a 18 milhões de trilhões de grãos de arroz. A dez grãos de arroz por polegada quadrada, isso exigiria arrozaais que cobrissem duas vezes a superfície da Terra, incluindo os oceanos.

A outra versão da história é que o inventor foi decapitado por isso. Não se

sabe ainda para qual dos finais estamos nos dirigindo.

Mas uma coisa deveríamos observar: as coisas até que transcorreram sem muito problema enquanto o imperador e o inventor contabilizavam a primeira *metade* do tabuleiro de xadrez. Após 32 quadrados, o imperador havia dado ao inventor cerca de 4 bilhões de grãos de arroz. Esta é uma quantidade razoável cerca de um arrozal grande e aí o imperador começou a prestar mais atenção.

Mas o imperador ainda podia permanecer imperador. E o inventor ainda podia conservar sua cabeça. Foi quando começaram a contabilizar a segunda metade do tabuleiro que pelo menos um deles se meteu em apuros.

Então onde é que estamos agora? Já aconteceram cerca de 32 duplicações de velocidade e capacidade desde que os primeiros computadores operacionais foram construídos, na década de 1940. Onde estamos agora: acabamos a primeira metade do tabuleiro. E, de fato, as pessoas estão começando a prestar mais atenção.

Agora, entrando no novo século, estamos nos dirigindo para a segunda metade do tabuleiro de xadrez. E aqui é que as coisas começam a ficar interessantes.

OK, ENTÃO DEIXE-ME ENTENDER ISSO. MINHA CONCEPÇÃO COMO UM ÓVULO FERTILIZADO FOI COMO O BIG BANG DO UNIVERSO OU SEJA, AS COISAS COMEÇARAM A ACONTECER MUITO RAPIDAMENTE, LOGO DEPOIS MEIO QUE REDUZIRAM A VELOCIDADE, E AGORA ESTÃO EXTREMAMENTE LENTAS?

É um jeito razoável de dizer isso; o intervalo de tempo agora entre marcos é muito maior do que quando você era criança, quanto mais um feto.

VOCÊ MENCIONOU QUE O UNIVERSO TEVE TRÊS MUDANÇAS DE PARADIGMA NO PRIMEIRO BILIONÉSIMO DE SEGUNDO. AS COISAS ERAM TÃO RÁPIDAS ASSLM QUANDO EU SURGÍ?

Não tão rápidas. O Universo começou como uma singularidade, um ponto único que não ocupava espaço algum e não compreendia, portanto, nenhum caos. Portanto, o primeiro grande evento, que foi a criação do Universo, não levou tempo algum. Com o Universo ainda muito pequeno, os eventos foram se desenrolando de forma extremamente rápida. Não começamos como um único ponto, mas como uma célula bastante complexa. Ela tem ordem, mas existe muita atividade aleatória dentro de uma célula, se comparada a um único ponto no espaço. Então nosso primeiro grande evento como um organismo, que é a primeira mitose de nosso óvulo fertilizado, é medido em horas, não em

trilionésimos de segundo. As coisas vão reduzindo a velocidade a partir daí.

MAS EU SINTO COMO SE O TEMPO ESTIVESSE ACELERANDO. OS ANOS SIMPLEMENTE VÃO PASSANDO MUITO MAIS RÁPIDO AGORA DO QUE QUANDO EU ERA GAROTO. VOCÊ NÃO ESTÁ TROCANDO AS BOLAS?

Sim, a Experiência subjetiva é o oposto da realidade objetiva.

AH, CLARO. POR QUE NÃO PENSEI NISSO ANTES?

Deixe-me esclarecer o que acabei de dizer. A realidade objetiva é a realidade do observador de fora observando o processo. Se observarmos o desenvolvimento de um indivíduo, os eventos relevantes acontecem com muita rapidez no começo, mas depois os marcos são mais espalhados, de modo que dizemos que o tempo está diminuindo de velocidade. A Experiência subjetiva, entretanto, é a Experiência do processo em si, supondo-se, claro, que o processo seja consciente. O que, em seu caso, é. Pelo menos, suponho que seja este o caso.

OBRIGADO.

Subjetivamente, nossa percepção do tempo é afetada pelo espaçamento de marcos.

MARCOS?

Sim, como o crescimento de um corpo e de um cérebro.

E NASCER?

Com certeza, isso é um marco. Depois, aprender a sentar, andar, falar...

OK.

Podemos considerar cada unidade subjetiva de tempo como equivalente a um espaço entre marcos. Como nossos marcos são espaçados a distâncias cada vez maiores à medida que envelhecemos, uma unidade subjetiva de tempo representará um hiato de tempo maior para um adulto do que para uma criança. Assim, o tempo parece passar mais rápido à medida que envelhecemos. Ou seja, um intervalo de poucos anos como adulto pode ser percebido como comparável a alguns meses para uma criança. Assim, um longo intervalo para um adulto e um curto intervalo para uma criança representam ambos o mesmo tempo subjetivo em termos da passagem de eventos relevantes. Naturalmente, intervalos longos e curtos também representam frações comparáveis de suas respectivas vidas passadas.

ENTÃO ISSO EXPLICA POR QUE O TEMPO PASSA MAIS RÁPIDO QUANDO ESTOU ME DIVERTINDO?

Pode ser relevante para um fenômeno. Se alguém passa por uma Experiência em que muitos eventos significantes ocorrem, essa Experiência pode parecer um período de tempo muito mais longo do que um período mais calmo. Mais uma

vez, medimos o tempo subjetivo em termos de Experiências relevantes.

AGORA, SE EU ACHO QUE O TEMPO ESTÁ ACELERANDO QUANDO OBJETIVAMENTE ESTÁ REDUZINDO A VELOCIDADE, ENTÃO A EVOLUÇÃO IRIA SUBJETIVAMENTE ACHAR QUE O TEMPO ESTÁ REDUZINDO A VELOCIDADE ENQUANTO OBJETIVAMENTE ACELERA. SERÁ QUE ENTENDÍ BEM?

Sim, se a evolução fosse consciente.

E NÃO É?

Não há como dizer de fato, mas a espiral de tempo da evolução segue na direção oposta de entidades que geralmente consideramos conscientes, como humanos. Em outras palavras, a evolução começa devagar e acelera ao longo do tempo, ao passo que o desenvolvimento de uma pessoa começa rápido e depois desacelera. A espiral de tempo do Universo, entretanto, vai na mesma direção que nós, organismos, então faria mais sentido dizer que o Universo é consciente. E, pensando bem, isso lança alguma luz sobre o que aconteceu antes do Big Bang.

EU ESTAVA PENSANDO NISSO AGORINHA MESMO.

Quando olhamos para trás no tempo e nos aproximamos do evento do Big Bang, o caos se reduz até chegar a zero. Assim, de um ponto de vista subjetivo, o tempo está se esticando. De fato, quando voltamos no tempo e nos aproximamos do Big Bang, o tempo subjetivo se aproxima do infinito. Assim, não é possível voltar para um infinito subjetivo de tempo.

VOCÊ TIROU UM PESO DA MINHA CABEÇA. AGORA, VOCÊ DISSE QUE O PROGRESSO EXPONENCIAL DE UM PROCESSO EVOLUCIONÁRIO CONTINUA PARA SEMPRE. EXISTE ALGUMA COISA QUE POSSA DETÊ-LO?

Somente uma catástrofe que elimine todo o processo.

COMO UMA GUERRA NUCLEAR TOTAL?

Esta é uma das possibilidades, mas no século XXI encontraremos uma miríade de outros “modos de falha”. Vamos falar mais a respeito em outros capítulos mais adiante.

MAL POSSO ESPERAR. AGORA, ME DIGA UMA COISA: O QUE É QUE A LEI DOS RETORNOS ACELERADOS TEM A VER COM O SÉCULO XXI?

Tendências exponenciais são imensamente poderosas, mas enganadoras. Elas ficam ali por éons, mas com pouquíssimo efeito. Mas, assim que elas atingem o “joelho da curva”, explodem com fúria devastadora. Com relação à tecnologia informática e seu impacto sobre a sociedade humana, esse “joelho” está se aproximando com o novo milênio. Agora, tenho uma pergunta para você.

PODE FAZER.

Quem é você?

SOU O LEITOR, ORA.

Naturalmente. Bom ter você colaborando com o livro enquanto ainda há tempo de fazer algo a respeito dele.

FICO FELIZ. AGORA, VOCÊ NÃO TERMINOU A HISTÓRIA DO IMPERADOR. E AÍ, O IMPERADOR PERDEU SEU IMPÉRIO OU O INVENTOR PERDEU A CABEÇA?

Tenho dois finais, então não sei dizer.

TALVEZ ELES ALCANÇASSEM UMA SOLUÇÃO DE COMPROMISSO. O INVENTOR PODERIA SE CONTENTAR EM FICAR APENAS COM, DIGAMOS, UMA PROVÍNCIA DA CHINA.

Sim, este seria um bom resultado. E talvez uma parábola ainda melhor para o século XXI.

Capítulo Dois

A INTELIGÊNCIA DA EUGLUÇÃO

Eis aqui outra questão crítica para compreender o século XXI: *pode uma inteligência criar outra inteligência mais inteligente do que ela própria?*

Antes, vamos considerar o processo inteligente que nos criou: a evolução.

A evolução é um programador master. Ela tem sido prolífica, projetando milhões de espécies de diversidade e engenhosidade estonteantes. E isto só aqui na Terra. Os programas de software foram todos escritos, registrados como dados digitais na estrutura química de uma engenhosa molécula chamada ácido desoxirribonucleico, ou DNA. O DNA foi descrito pela primeira vez por J. D. Watson e F. H. C. Crick, em 1953, como uma dupla hélice consistindo de um par trançado de fios de polinucleotídeos com dois bits de informação codificados em cada degrau de uma escada em espiral, codificados pela escolha de nucleotídeos.¹ Esta memória master “somente de leitura” controla a vasta maquinaria da vida.

Apoiada por uma espinha dorsal trançada de fosfato de açúcar, a molécula de DNA tem entre várias dúzias e vários milhões de degraus, cada qual codificado com uma letra de nucleotídeo retirada de um alfabeto de quatro letras de pares de base (adenina-tiômina, tiômina-adenina, citosina-guanina e guaninacitosina). O DNA humano é uma molécula comprida se esticada, teria cerca de dois metros de comprimento mas está enrolada em uma bobina de apenas 1/2500 de polegada de comprimento.

O mecanismo de descascar cópias do código de DNA consiste de outras máquinas especiais: moléculas orgânicas chamadas enzimas, que dividem cada par de base e, em seguida, reúnem duas moléculas de DNA idênticas, recombinao os pares-base quebrados. Outras pequenas máquinas químicas então verificam a validade da cópia, verificando a integridade das combinações de pares de base. A taxa de erro dessas transações de processamento de informação químicas é de cerca de um erro de 1 bilhão de replicações de pares de base. Existem outros códigos de redundância e de correção de erros embutidos nos dados propriamente ditos, então erros significativos são raros. Alguns erros passam, a maioria dos quais provoca defeitos em uma única célula. Erros em uma célula fetal primordial podem causar defeitos de nascimento no organismo recém-nascido. Muito ocasionalmente, esses defeitos oferecem uma vantagem, e essa nova codificação pode eventualmente ser favorecida através da sobrevivência ampliada desse organismo e de sua prole.

O código de DNA controla os detalhes relevantes da construção de cada célula no organismo, incluindo as formas e os processos da célula, e dos órgãos compreendidos nas células. Em um processo denominado tradução, outras enzimas traduzem a informação de DNA codificada construindo proteínas. São essas proteínas que definem a estrutura, o comportamento e a inteligência de cada célula, e do organismo.²

Esta maquinaria computacional é, ao mesmo tempo, notavelmente complexa e fantasticamente simples. Apenas quatro pares de base fornecem o armazenamento de dados para a complexidade de todos os milhões de formas de vida sobre a Terra, desde bactérias primitivas até seres humanos. Os ribossomos pequenas moléculas gravadoras de fita leem o código e constroem proteínas de apenas 20 aminoácidos. A flexão sincronizada de células musculares, as intrincadas interações bioquímicas em nosso sangue, a estrutura e o funcionamento de nossos cérebros e todas as outras diversas funções das criaturas da Terra estão programadas neste eficiente código.

O dispositivo de processamento de informação genética é uma prova da existência da nanoEngenharia (a construção de máquinas átomo a átomo), pois a maquinaria da vida de fato acontece em nível atômico. Pequenos pedaços de moléculas que consistem em apenas dezenas de átomos codificam cada bit e executam a transcrição, a detecção de erros e as funções de correção. A verdadeira construção da matéria orgânica é conduzida átomo a átomo com a construção das cadeias de aminoácidos.

Esta é nossa compreensão do hardware do mecanismo computacional que dirige a vida na Terra. Contudo, estamos apenas começando a desvendar o software. Ainda que prolífica, a evolução tem sido uma programadora desmazelada. Ela nos deixou o código do objeto (bilhões de bits de dados codificados), mas não há código-fonte de alto nível (declarações em uma linguagem que possamos compreender), nenhum comentário explicativo, nenhum arquivo de “ajuda”, nenhuma documentação e nenhum manual do usuário. Através do Projeto Genoma Humano, estamos no processo de escrever o código de 6 bilhões de bits para o código genético humano, e estamos capturando o código de milhares de outras espécies também.³ Mas a Engenharia reversa para a obtenção do código de genoma compreender como ele funciona é um processo lento e laborioso que estamos apenas iniciando. Enquanto fazemos isso, entretanto, estamos aprendendo a base do processamento de informação da doença, do amadurecimento e do envelhecimento, e estamos ganhando os meios de corrigir e refinar a invenção inacabada da evolução.

Além da falta de documentação da evolução, ela é também uma programadora muito ineficiente. A maior parte do código 97%, de acordo com as

estimativas atuais não tem registro; ou seja, a maioria das sequências não produz proteínas e parece inútil. Isto significa que a parte ativa do código tem apenas 23 megabytes, que é menos do que o código do Microsoft Word. O código também está repleto de redundâncias. Por exemplo, uma sequência aparentemente sem sentido, chamada Alu, que compreende 300 letras de nucleotídeos, ocorre 300 mil vezes no genoma humano, representando mais de 3 % de nosso programa genético.

A teoria da evolução afirma que mudanças na programação são introduzidas essencialmente de forma aleatória. As mudanças são avarmadas para retenção pela sobrevivência de todo o organismo e sua capacidade de se reproduzir. Mesmo assim, o programa genético controla não apenas a característica que está sendo “experimentada”, mas milhões de outras características também. A sobrevivência do mais apto parece ser uma técnica crua, capaz de se concentrar em uma ou, no máximo, em algumas características de cada vez. Como a vasta maioria das imagens torna as coisas piores, pode parecer surpreendente que esta técnica funcione.

Isto contrasta com a abordagem humana convencional para a programação de computadores, na qual as mudanças são projetadas com um objetivo em mente, várias mudanças podem ser introduzidas de cada vez, e as mudanças feitas são testadas concentrando-se em cada mudança, e não pela sobrevivência total do programa. Se tentássemos aprimorar nossos programas de computador da maneira como a evolução aparentemente aprimora seu design, nossos programas sofreriam um colapso com o aumento da aleatoriedade.

E notável que, concentrando-se em um refinamento de cada vez, estruturas elaboradas como o olho humano pudessem ter sido projetadas. Alguns observadores postularam que esse design intrincado é impossível através do método de refinamento por incrementos que a evolução usa. Um design tão intrincado quanto o do olho ou o do coração aparentemente exigiria uma metodologia de design na qual ele fosse projetado todo de uma só vez.

Entretanto, o fato de que designs como o do olho têm muitos aspectos de interação não exclui sua criação através de uma trajetória de design que compreende um pequeno refinamento de cada vez. No útero, o feto humano parece seguir um processo de evolução, mas não se aceita universalmente se isto é um corolário das fases da evolução que levam à nossa subespécie ou não. Mesmo assim, a maioria dos estudantes de medicina aprende que a ontogenia (o desenvolvimento do feto) recapitula a filogenia (evolução de um grupo de organismos geneticamente relacionados, como um filo). Aparentemente, começamos no ventre de modo semelhante a um embrião de peixe, progredimos até um anfíbio, depois um mamífero, e assim por diante. Independentemente da

controvérsia da filogenia, podemos ver na história da evolução os rascunhos intermediários de design pelos quais a evolução passou, ao projetar mecanismos aparentemente “completos” como o olho humano. Muito embora a evolução se concentre em apenas uma questão de cada vez, ela é de fato capaz de criar designs impressionantes com muitas partes interativas.

Entretanto, existe uma desvantagem no método incremental de design da evolução: ela não pode executar redesigns completos com facilidade. Ela fica impedida, por exemplo, com a velocidade computacional lentíssima dos neurônios dos mamíferos. Mas existe um jeito de tangenciar isso, conforme exploraremos no Capítulo 6, “Construindo Novos Cérebros”.

A evolução da evolução

Existem também determinadas maneiras através das quais a evolução desenvolveu seus próprios métodos de evolução. A codificação com base em DNA propriamente dita é obviamente um desses meios. Determinados elementos de design, como a forma do olho, são codificados de um jeito que torna as mutações menos prováveis. A detecção de erros e os mecanismos de correção embutidos na codificação com base no DNA torna as alterações nessas regiões muito improváveis. Este reforço da integridade do design para certas características críticas evoluiu porque elas oferecem uma vantagem mudanças nessas características são normalmente catastróficas. Outros elementos de design, como o número e o layout de cones e bastonetes sensíveis à luz na retina, possuem menos reforços de design embutidos no código. Se examinarmos o registro evolucionário, veremos mudanças mais recentes no layout da retina do que na forma do globo ocular propriamente dito. Então, de certas maneiras, as estratégias da evolução evoluíram. A Lei dos Retornos Acelerados diz que isso deveria acontecer, pois evoluir suas próprias estratégias é a maneira básica pela qual um processo evolucionário se constrói.

Simulando a evolução, podemos também confirmar a habilidade do processo de design da evolução de “um passo de cada vez” para construir designs engenhosos de muitos elementos que interagem. Um exemplo é uma simulação de software da evolução de formas de vida chamado NetWork Tierra, projetado por Thomas Ray, biólogo e especialista em florestas tropicais.⁴ As “criaturas” de Ray são simulações de software de organismos nas quais cada “célula” tem seu próprio código genético tipo DNA. Os organismos competem uns com os outros pelo espaço simulado limitado e pelos recursos energéticos de seu ambiente simulado.

Um aspecto exclusivo desse mundo artificial é que as criaturas têm livre

trânsito por 150 computadores na Internet, como “ilhas em um arquipélago”, segundo Ray. Um dos objetivos dessa pesquisa é compreender como a explosão de diversos tipos de corpos que ocorreu na Terra durante o período cambriano, há cerca de 570 milhões de anos, foi possível. “Observar a evolução se desenrolar é emocionante”, exclamou Ray ao observar suas criaturas evoluírem de organismos unicelulares não especializados para organismos multicelulares com, pelo menos, aumentos modestos de diversidade. Há relatos de que Ray identificou o equivalente de parasitas, imunidades e uma interação social primitiva.

Uma das limitações assumidas na simulação de Ray é a falta de complexidade em seu ambiente simulado. Um insight obtido a partir desta pesquisa é a necessidade de um ambiente adequadamente caótico como recurso-chave necessário para estimular a evolução, um recurso que existe em grande quantidade no mundo real.

Uma aplicação prática da evolução é a área de algoritmos evolucionários, na qual milhões de programas de computador que evoluem competem uns com os outros em um processo evolucionário simulado, detendo assim a inteligência inerente da evolução para solucionar problemas do mundo real. Como a inteligência da evolução é fraca, nós a concentramos e a amplificamos da mesma maneira que uma lente concentra os raios esparsos do sol. Falaremos mais a respeito desta poderosa abordagem para design de software no Capítulo 4, “Uma Nova Forma de Inteligência na Terra”.

O quociente de inteligência da evolução

Vamos primeiro entoar louvores à evolução. Ela criou uma grande variedade de designs de indescritível beleza, complexidade e elegância, para não mencionar eficiência. De fato, algumas teorias estéticas definem beleza como o grau de sucesso na emulação da beleza natural que a evolução criou. Ela criou seres humanos com seus cérebros humanos inteligentes, seres inteligentes o bastante para criarem sua própria tecnologia inteligente.

A inteligência da evolução parece vasta. Mas será mesmo? Ela possui uma deficiência: a evolução é muito lenta. Embora seja verdade que ela criou alguns designs notáveis, ela levou um período de tempo extremamente longo para fazer isso. Foram necessários éons para que o processo tivesse início, e, para a evolução de formas de vida, éons significaram bilhões de anos. Nossos ancestrais humanos também levaram éons para iniciar sua criação de tecnologia, mas, para nós, os éons significaram apenas dezenas de milhares de anos, um grande avanço.

Será que a extensão de tempo necessária para solucionar um problema ou criar um design inteligente é relevante para uma avaliação da inteligência? Os autores de nossos testes de quociente de inteligência humanos parecem achar que sim, e é por isso que a maioria dos testes de QI têm de ser feitos num limite específico de tempo. Nós consideramos que resolver um problema em alguns segundos é melhor que resolvê-lo em algumas horas. Periodicamente, o aspecto da cronometragem dos testes de QI dá margem a controvérsias, mas não deveria. A velocidade de um processo inteligente é um aspecto válido de sua avaliação. Se um animal grande, curvado, em forma de gato, pendurado em um galho de árvore, subitamente aparece no canto da minha córnea esquerda, projetar uma tática evasiva em um ou dois segundos é preferível a ficar algumas horas ponderando o desafio que ele oferece. Se seu chefe lhe pede para projetar um programa de marketing, ele provavelmente não quer esperar cem anos para isso. A Viking Penguin (editora original do livro) queria que este livro fosse entregue antes do final do segundo milênio, e não do terceiro.⁵

A evolução atingiu um extraordinário registro de design, mas levou um período extraordinariamente longo de tempo para fazer isso. Se fatorarmos suas realizações por seu ritmo ponderado, acredito que precisaremos concluir que seu quociente de inteligência é apenas infinitesimalmente maior que zero. Um QI de pouco mais que zero (definindo o comportamento verdadeiramente arbitrário como zero) é o suficiente para a evolução vencer a entropia e criar designs maravilhosos, dado tempo suficiente, da mesma maneira que uma assimetria muito pequena no equilíbrio entre matéria e antimatéria foi suficiente para permitir que a matéria superasse quase completamente sua antítese.

A evolução, portanto, é apenas um quantum mais inteligente do que o comportamento completamente não inteligente. A razão pela qual nossos algoritmos evolucionários criados por humanos são eficientes é que nós aceleramos o tempo 1 milhão ou 1 bilhão de vezes, para concentrar e focalizar seu poder, que de outra forma seria difuso. Em contraste, os humanos são muito mais inteligentes do que apenas um quantum maior que a total imbecilidade (naturalmente, seu ponto de vista pode variar, dependendo dos últimos noticiários).

O FIM DO UNIVERSO

O que a Lei do Tempo e do Caos diz a respeito do fim do Universo?

Uma teoria diz que o Universo continuará sua expansão para sempre. Uma teoria contrária afirma que, se existir matéria suficiente, então a força da própria gravidade do Universo interromperá a expansão, resultando em um último Big Crunch. A menos, claro, que exista uma força antigravitacional. Ou se a "constante cosmológica", o *fudge fator* (valor ou parâmetro que varia de maneira determinada para produzir o resultado desejado. O termo "tolerância" também é utilizado, embora normalmente indique variação

apenas em uma direção. Um fudge factor pode ser alterado em mais de uma direção. Por exemplo, os coeficientes de uma equação, que podem variar para que a equação atenda a critérios específicos. N. do T.) de Einstein, for grande o bastante. Precisei reescrever este parágrafo três vezes nos últimos meses porque os físicos não conseguem se decidir. A mais recente especulação aparentemente é favorável à expansão indefinida.

Pessoalmente, prefiro a ideia do Universo tornando a se fechar em si mesmo como sendo mais agradável esteticamente. Isto significaria que o Universo reverteria sua expansão e atingiria uma singularidade novamente. Podemos especular que ele mais uma vez se expandiria e contrairia em um ciclo sem fim. A maioria das coisas no Universo parece se mover em ciclos, então por que o Universo propriamente dito não o faria? O Universo poderia então ser visto como uma pequena partícula de onda em algum outro Universo realmente grande. E esse Universo grande seria ele próprio uma partícula vibratória em outro Universo ainda maior. De forma contrária, as minúsculas partículas de onda em nosso Universo podem ser consideradas como pequenos Universos com cada uma de suas vibrações durando frações de um trilionésimo de segundo em nosso Universo representando bilhões de anos de expansão e contração naquele pequeno Universo. E cada partícula nesses pequenos Universos poderia... ok, estou ficando um pouco empolgado demais.

Como "desquebrar" uma Xícara

Digamos que o Universo reverta sua expansão. A fase de contração tem as características opostas à fase de expansão na qual estamos agora. Obviamente, o caos no Universo diminuirá à medida que o Universo ficar menor. Posso ver que este é o caso considerando o ponto final, que é mais uma vez uma singularidade sem tamanho e, portanto, sem desordem.

Consideramos o tempo se movendo em uma direção porque os processos no tempo geralmente não são reversíveis. Se quebrarmos uma xícara, descobrimos que é difícil "desquebrá-la". A razão disso tem a ver com a segunda lei da termodinâmica. Como a entropia como um todo pode aumentar, mas jamais diminuir, o tempo possui direcionalidade. Quebrar uma xícara aumenta a aleatoriedade. "Desquebrá-la" violaria a segunda lei da termodinâmica. Mas, na fase de contração do Universo, o caos está diminuindo, por isso deveríamos considerar a direção do tempo como revertida.

Isto reverte todos os processos no tempo, transformando a evolução em involução. O tempo se move para trás durante a segunda metade do ciclo de vida do Universo. Então, se você quebrar a sua xícara favorita, tente fazer isso quando estivermos chegando perto da metade do ciclo de vida do Universo. Você deverá descobrir que a xícara voltará a ficar inteira quando passarmos para a fase de contração do ciclo do Universo.

Agora, se o tempo estiver se movendo para trás durante essa fase de contração, o que nós (vivendo na fase de expansão do Universo) vemos como o que será o Big Crunch, é na verdade um Big Bang para as criaturas que vivem (em tempo reverso) durante a fase de contração. Considere a perspectiva dessas criaturas de tempo reverso vivendo no que consideramos a fase de contração do Universo. Do ponto de vista delas, o que consideramos a segunda fase é na verdade a primeira fase delas, como tempo seguindo na direção reversa. Então, da perspectiva deles, o Universo, durante esta fase, está se expandindo, não se contraindo. Assim, se a teoria de que o "Universo acabará um dia se contraindo" estiver correta, seria adequado dizer que o Universo está preso no tempo por dois Big Bangs, com os acontecimentos fluindo em direções opostas no tempo a partir de cada Big Bang, encontrando-se no meio. As criaturas que vivem em ambas as fases podem dizer que estão na primeira metade da história do Universo, já que ambas as fases parecerão ser a primeira metade para as criaturas que vivem nessas fases. E em ambas as metades do ciclo de tempo do Universo, a Lei da Entropia, a Lei do Tempo e do Caos, e a Lei dos Retornos Acelerados (conforme aplicada à evolução) são todas verdadeiras, mas com o tempo se movendo em direções opostas.⁶

O fim do tempo

E se o Universo se expandir indefinidamente? Isto significaria que as estrelas e galáxias acabarão um dia exaurindo sua energia, deixando um Universo de estrelas mortas se expandindo para sempre. Isso deixaria uma grande bagunça muita aleatoriedade e nenhuma ordem que fizesse sentido. Portanto, de acordo com a Lei do Tempo e do Caos, o tempo iria gradualmente parar.

Consistentemente, se um Universo morto significa que não haverá seres conscientes para apreciá-lo, então tanto os pontos de vista da mecânica quântica quanto o subjetivo oriental⁷ aparentemente implicariam que o

Universo cessaria de existir.

Em meu ponto de vista, nenhuma dessas conclusões está exatamente correta. Ao final deste livro, compartilharei com você minha perspectiva do que acontecerá no fim do Universo. Mas não vá olhar o final do livro agora.

Considere a sofisticação de *nossas* criações ao longo de um período de alguns milhares de anos. Em última análise, nossas máquinas atingirão uma inteligência igual e superior à humana, não importa como queiramos definir ou mensurar este termo de difícil apreensão. Mesmo que meu cronograma seja falho, poucos observadores sérios que estudaram o assunto afirmam que os computadores jamais atingirão ou superarão a inteligência humana. Os humanos terão vencido em grande parte a evolução, portanto, atingindo em apenas alguns milhares de anos mais do que a evolução atingiu em bilhões de anos. Então a inteligência humana, um produto da evolução, é muito mais inteligente do que seu criador.

E, assim, também, a inteligência que estamos criando superará a inteligência de seu criador. Não é o caso hoje em dia. Mas, como o restante deste livro argumentará, isso acontecerá muito em breve em termos evolucionários ou, mesmo, em termos de história humana e durante as vidas da maioria dos leitores deste livro. A Lei dos Retornos Acelerados assim o prediz. E, além do mais, ela prediz que a progressão nas habilidades das máquinas criadas pelos humanos só continuará a acelerar. A espécie humana que cria tecnologia inteligente é outro exemplo do progresso da evolução que se alimenta de si mesma. A evolução criou a inteligência humana. Agora a inteligência humana está projetando máquinas inteligentes a um ritmo bem mais rápido. Mas outro exemplo será quando nossa tecnologia inteligente assumir o controle da criação de uma tecnologia ainda mais inteligente do que ela própria.

AGORA, SOBRE ESSA QUESTÃO DO TEMPO, NÓS COMEÇAMOS COMO UMA ÚNICA CÉLULA, CERTO?

Isso mesmo.

E ENTÃO NOS DESENVOLVEMOS EM ALGO QUE LEMBRA UM PEIXE, DEPOIS UM ANFÍBIO, UM MAMÍFERO, E ASSIM POR DIANTE... VOCÊ SABE QUE A ONTOGENIA RECAPITULA...

Filogenia, sim.

ENTÃO É IGUAL À EVOLUÇÃO, CERTO? PASSAMOS PELA EVOLUÇÃO NO VENTRE MATERNO.

Sim, a teoria é essa. A palavra *filogenia* é derivada de *filo*...

MAS VOCÊ DISSE QUE, NA EVOLUÇÃO, O TEMPO ACELERA. MAS, NA VIDA DE UM ORGANISMO, O TEMPO REDUZ A VELOCIDADE.

Ah, sim, essa é boa. Eu posso explicar.

SOU TODO OUVIDOS.

A Lei do Tempo e do Caos afirma que, num processo, o intervalo médio de tempo entre eventos relevantes é proporcional à quantidade de caos no processo. Então, precisamos tomar cuidado na hora de definir com precisão o que constitui o processo. E verdade que a evolução começou com células simples. E também começamos como uma única célula. Parece semelhante, mas, do ponto de vista da Lei do Tempo e do Caos, não é. Começamos como apenas uma célula. Quando a evolução chegou ao ponto de células simples, não era uma única célula, mas muitos trilhões de células. E essas células estavam simplesmente nadando por ali; isso é muito caos e não muita ordem. O movimento primário de evolução foi na direção de uma ordem maior. Entretanto, no desenvolvimento de um organismo, o movimento primário é na direção de um caos maior o organismo crescido tem uma desordem muito maior do que a célula simples como a qual começou. Ele tira esse caos do ambiente à medida que suas células se multiplicam, e à medida que ele se encontra com seu ambiente. Está mais claro agora?

AH, CLARO. MAS NÃO TESTE MEUS CONHECIMENTOS. ACHO QUE O MAIOR CAOS NA MINHA VIDA FOI QUANDO SAÍ DE CASA PARA A FACULDADE. AS COISAS ESTÃO COMEÇANDO A SE AJUSTAR AGORA NOVAMENTE.

Eu nunca disse que a Lei do Tempo e do Caos explica tudo.

OK, MAS EXPLIQUE O SEGUINTE: VOCÊ DISSE QUE A EVOLUÇÃO NÃO ERA MUITO INTELIGENTE, OU PELO MENOS ERA UM TANTO LENTA DE RACIOCÍNIO. MAS ALGUNS DESSES VÍRUS E BACTÁRIAS NÃO ESTÃO UTILIZANDO A EVOLUÇÃO PARA NOS ULTRAPASSAR EM TERMOS DE INTELIGÊNCIA?

A evolução opera em diferentes escalas de tempo. Se nós a acelerarmos, ela poderá vir a ser mais inteligente do que nós. Esta é a ideia por trás de programas de software que aplicam um processo evolucionário simulado para resolver problemas complexos. A evolução patogênica é outro exemplo da capacidade da evolução em amplificar e focalizar seus poderes difusos. Afinal, uma geração de vírus pode acontecer em minutos ou horas, se comparada a décadas para a raça humana. Entretanto, acho que, no fim das contas, prevaleceremos contra as táticas evolucionárias de nossos agentes transmissores de doenças.

SERIA ÚTIL SE PARÁSSEMOS DE USAR ANTIBIÓTICOS EM

EXCESSO.

Sim, e isso nos traz outra questão, que é se a espécie humana é mais inteligente do que seus membros individuais.

COMO ESPÉCIE, SOMOS CERTAMENTE BASTANTE AUTODESTRUTIVOS.

Isso quase sempre é verdade. Não obstante, temos um profundo diálogo amplo acontecendo dentro de nossa espécie. Em outras espécies, os indivíduos podem se comunicar em um pequeno clã ou colônia, mas há pouco compartilhamento de informações (se é que há algum) além disso, e pouco conhecimento acumulado aparente. A base de conhecimento humano de ciência, tecnologia, arte, cultura e história não tem paralelo em nenhuma outra espécie.

E QUANTO ÀS CANÇÕES DAS BALEIAS?

Hummm... Acho que simplesmente não sabemos sobre o que elas estão cantando.

E QUANTO AOS MACACOS COM OS QUAIS VOCÊ PODE CONVERSAR NA INTERNET?

Em 27 de abril de 1998, o gorila Koko participou do que sua mentora, Francine Patterson, chamou de o primeiro chat interespecies, no America On-line.⁸ Mas os críticos de Koko afirmam que Patterson é o cérebro por trás de Koko.

MAS AS PESSOAS CONSEGUIRAM CONVERSAR COM KOKO ON-LINE.

Sim. Entretanto, Koko está meio enferrujado no uso do teclado, e por isso as perguntas foram interpretadas por Patterson em Linguagem de Sinais Americana, que Koko observou, e em seguida as respostas dadas por Koko em sinais foram interpretadas por Patterson nas respostas digitadas. Acho que a suspeita é que Patterson é como aqueles intérpretes de linguagem dos corpos diplomáticos: não se sabe ao certo se você está se comunicando com o dignitário, neste caso Koko, ou com o intérprete.

NÃO FICA CLARO DE MODO GERAL QUE OS MACACOS ESTÃO SE COMUNICANDO? ELES NÃO SÃO ASSIM TÃO DIFERENTES DE NÓS GENETICAMENTE, COMO VOCÊ DISSE.

Existe obviamente alguma espécie de comunicação acontecendo. A questão que está sendo feita pela comunidade de linguística é se os macacos realmente conseguem lidar com os níveis de simbolismo incorporados na linguagem humana. Acho que a dra. Emily Savage-Rumbaugh, da Geórgia State University, que coordena um laboratório de 22 hectares para comunicação com macacos, deu uma boa declaração recentemente ao dizer: “Eles [os críticos dela] estão pedindo a Kanzi [um de seus macacos de teste] que faça tudo o que os humanos

fazem, o que é absurdo. Ele jamais fará isso. Isso ainda não nega o que ele pode fazer.”

ESTOU DO LADO DOS MACACOS.

Sim, seria bom termos alguém com quem conversar quando nos cansarmos de outros humanos.

ENTÃO POR QUE VOCÊ NÃO BATE UM PAPINHO COM SEU COMPUTADOR?

Eu converso com meu computador, e ele faz obedientemente o que lhe digo. E posso dar comandos falando em linguagem natural para o Microsoft Word,⁹ mas ele ainda não é muito animado em termos de bate-papo. Lembre-se, os computadores ainda são um milhão de vezes mais simples do que o cérebro humano, então ainda faltam duas décadas antes que eles se tornem bons companheiros de conversa.

VOLTANDO À QUESTÃO DA INTELIGÊNCIA INDIVIDUAL *VERSUS* INTELIGÊNCIA GRUPAL, A MAIORIA DAS REALIZAÇÕES NA ARTE E NA CIÊNCIA NÃO É EXECUTADA POR INDIVÍDUOS? SABE COMO É, VOCÊ NÃO PODE ESCREVER UMA CANÇÃO NEM PINTAR UM QUADRO EM GRUPO.

Na verdade, grande parte de importantes trabalhos em ciência e tecnologia é feita por grupos grandes.

MAS OS VERDADEIROS AVANÇOS NÃO SÃO FEITOS POR INDIVÍDUOS?

Em muitos casos, isso é verdade. Mesmo assim, os críticos e tecnólogos conservadores, até mesmo os intolerantes, desempenham um importante papel de filtragem. Nem toda ideia nova e diferente vale a pena ser seguida. E válido ter algumas barreiras para romper. No todo, a empreitada humana é claramente capaz de realizações que vão muito além do que podemos fazer como indivíduos.

QUE TAL A INTELIGÊNCIA DE UMA MULTIDÃO NUM LINCHAMENTO?

Suponho que um grupo nem sempre seja mais inteligente do que seus membros.

ESPERO QUE ESTAS MÁQUINAS DO SÉCULO XXI NÃO EXIBAM NOSSA PSICOLOGIA DE MASSAS.

Boa questão.

QUERO DIZER, EU NÃO GOSTARIA QUE TUDO TERMINASSE NUM BECO ESCURO COM UM BANDO DE MÁQUINAS INDISCIPLINADAS.

Devemos ter isso em mente ao projetarmos nossas futuras máquinas. Vou fazer

uma pequena anotação...

**SIM, PARTICULARMENTE ANTES QUE AS MÁQUINAS COMECEM,
COMO VOCÊ DISSE, A PROJETAR A SI MESMAS.**

Capítulo Três

SOBRE MENTE E MÁQUINAS

EXPERIÊNCIAS MENTAIS FILOSÓFICAS

“Estou me sentindo só e entediado; por favor, fique comigo.”

Se seu computador exibisse essa mensagem em sua tela, será que isso convenceria você de que seu notebook está consciente e tem sentimentos?

Obviamente, não. É bastante trivial um programa exibir uma mensagem desse tipo. A mensagem vem, na verdade, do autor presumivelmente humano do programa que inclui essa mensagem. O computador é apenas um condutor da mensagem, assim como um livro ou um biscoito da sorte.

Suponha que adicionemos síntese de fala ao programa e façamos o computador falar sua mensagem suplicante. Será que mudamos alguma coisa? Embora tenhamos acrescentado complexidade técnica ao programa, e alguns meios de comunicação humanos, ainda não consideramos o computador como o autor genuíno da mensagem.

Suponha, agora, que a mensagem não seja programada explicitamente, mas seja produzida por um programa de jogos que contenha um modelo complexo de sua própria situação. A mensagem específica pode nunca ter sido prevista pelos criadores humanos do programa. Ela é criada pelo computador a partir do estado de seu próprio modelo interno quando interage com você, usuário. Será que estamos chegando mais perto de considerar o computador como uma entidade consciente e com sentimentos?

Talvez um pouco. Mas se considerarmos os softwares de games atuais, a ilusão provavelmente durará pouco, à medida que formos descobrindo os métodos e as limitações por trás da capacidade do computador para bater papo.

Agora, suponha que os mecanismos por trás da mensagem cresçam até se tornarem uma maciça rede neural, construída a partir de silício, mas com base em uma Engenharia reversa do cérebro humano. Suponha que desenvolvamos um protocolo de aprendizado para que esta rede neural que o habilita aprenda a linguagem humana e modele o conhecimento humano. Seus circuitos são um milhão de vezes mais rápidos que os neurônios humanos, então ela tem muito tempo para ler toda a literatura humana e desenvolver suas próprias concepções de realidade. Seus criadores não lhe dizem como reagir ao mundo. Suponha, agora, que ela diga: “Estou me sentindo só...”

Em que ponto consideramos o computador um agente consciente com sua vontade própria? Estes têm sido os problemas mais difíceis da filosofia desde que os diálogos de Platão iluminaram as contradições inerentes em nossa concepção desses termos.

Vamos considerar a encosta escorregadia da direção oposta. Nosso amigo Jack (por volta de algum tempo no século XXI) tem reclamado de dificuldades de audição. Um teste diagnóstico indica que ele precisa de mais que um aparelho auditivo convencional, então ele obtém um implante de cóclea. Antigamente utilizados somente por pessoas com graves problemas de audição, esses implantes hoje são comuns para corrigir a capacidade das pessoas de ouvir todo o espectro sônico. Esse procedimento cirúrgico de rotina é bem-sucedido, e Jack fica satisfeito com a melhora em sua audição.

Ele ainda é a mesma pessoa?

Claro que sim. As pessoas tiveram implantes de cóclea por volta de 1999. Nós ainda as consideramos as mesmas pessoas de antes.

Agora (vamos voltar a algum lugar no século XXI), Jack está tão impressionado com o sucesso de seus implantes cocleares que escolhe acionar os circuitos de cognição fônica embutidos, que aprimoram a percepção auditiva total. Esses circuitos já haviam sido embutidos, de modo que ele não precisa de outro procedimento de inserção caso subsequentemente decida habilitá-los. Ativando esses circuitos de substituição neural, as redes de detecção fônica embutidas no implante se sobrepõem às suas próprias regiões fônico-neurais, que estão ficando envelhecidas. Sua conta em dinheiro também é debitada para uso desse software neural adicional. Mais uma vez, Jack fica satisfeito com a melhoria de sua capacidade de compreender o que as pessoas estão dizendo.

Será que ainda temos o mesmo Jack? Claro; ninguém pensaria nisso duas vezes.

Jack agora recebe a proposta dos benefícios da tecnologia emergente de implantes neurais. Suas retinas ainda estão funcionando bem, então ele as mantém intactas (embora tenha permanentemente implantado displays de geração de imagens retiniais em suas córneas para ver realidade virtual), mas decide experimentar os recém-introduzidos implantes de processamento de imagem, e fica espantado ao descobrir como sua percepção visual ficou muito mais vivida e rápida.

Ainda é Jack? Claro, ora.

Jack repara que sua memória não é mais o que era antes, pois tem que fazer um grande esforço para se lembrar de nomes, detalhes de acontecimentos pregressos e outras coisas. Então ele volta para colocar implantes de memória. Estes são fantásticos: memórias que haviam ficado difusas com o tempo estão

agora claras, como se tivessem acabado de acontecer. Ele também tem tido dificuldades com algumas consequências inesperadas, pois dá de cara com lembranças desagradáveis que teria preferido que permanecessem obscuras.

Ainda é o mesmo Jack? Obviamente ele mudou em algumas coisas e seus amigos estão impressionados com suas faculdades aprimoradas. Mas ele tem o mesmo humor autodepreciativo, o mesmo sorriso ingênuo... sim, ele é o mesmo cara.

Então, por que parar por aqui? Em mais algum tempo, Jack terá a opção de escanear todo o seu cérebro e seu sistema nervoso (que não fica inteiramente localizado no crânio) e substituí-lo por circuitos eletrônicos de capacidade, velocidade e confiabilidade muito maiores. Há também o benefício de manter uma cópia de segurança caso alguma coisa aconteça ao Jack físico.

Certamente esse espectro é incômodo, talvez mais assustador do que atraente. E, sem dúvida, ele será controvertido por um longo tempo (embora, de acordo com a Lei dos Retornos Acelerados, um “longo tempo” não seja tão longo quanto costumava ser antigamente). Em última análise, os benefícios esmagadores de substituir circuitos neurais não confiáveis por circuitos aperfeiçoados serão atraentes demais para ignorar.

Será que perdemos Jack em algum lugar ao longo do caminho? Os amigos de Jack acham que não. Jack também afirma que ele é o mesmo velho sujeito, só que mais novo. Sua audição, sua visão, sua memória e sua capacidade de raciocínio melhoraram todas, mas ele ainda é o mesmo Jack.

Entretanto, vamos examinar o processo com um pouco mais de cuidado. Suponha que, ao invés de implementar essa mudança um passo de cada vez, como no cenário descrito, Jack faça tudo de uma vez só. Ele faz uma varredura cerebral completa e as informações da varredura são instanciadas (instaladas) em um computador neural eletrônico. Como ele não gosta de fazer coisas pela metade, ele atualiza o próprio corpo também. Será que fazer a transição de uma vez só muda alguma coisa? Qual é a diferença entre mudar de circuitos neurais para circuitos eletrônico/fotônicos de uma vez só, em vez de fazer isso gradualmente? Ainda que ele faça a mudança em uma etapa rápida, o novo Jack ainda é o mesmo velho Jack, certo?

Mas e quanto aos velhos cérebro e corpo de Jack? Supondo uma varredura não invasiva, eles ainda existem. Este é Jack! Se a informação escaneada é subsequentemente utilizada para instanciar uma cópia de Jack, isso não altera o fato de que o Jack original ainda existe e está relativamente inalterado. Jack pode não estar ciente sequer se um novo Jack foi ou não criado. E, por falar nisso, podemos criar mais de um novo Jack.

Se o procedimento envolve a destruição do velho Jack assim que tivermos

realizado algumas etapas de controle de qualidade para garantir que o novo Jack esteja inteiramente funcional, isso não constituiria o assassinato (ou suicídio) de Jack?

Suponha que a varredura original de Jack não seja não invasiva, que seja uma varredura “destrutiva”. Observe que, tecnologicamente falando, uma varredura destrutiva é muito mais fácil na verdade, já temos a tecnologia para escanear de modo destrutivo seções neurais congeladas, garantir a fiação interneuronal e fazer Engenharia reversa para encontrar algoritmos analógico-digitais paralelos dos neurônios. Ainda não temos a largura de banda para fazer isso com velocidade suficiente para varrer qualquer coisa além de uma minúscula porção do cérebro. Mas a mesma questão de velocidade existia para outro projeto de varredura a varredura do genoma humano quando esse projeto começou. Com a velocidade que os pesquisadores eram capazes de varrer e sequencializar o código genético humano em 1991, teriam sido necessários milhares de anos para completar o projeto. Entretanto, foi determinado um cronograma de 14 anos, que hoje parece que será realizado com sucesso. (O Projeto Genoma Humano terminou a varredura e a sequencialização do código genético humano em 2000, portanto antes mesmo da expectativa do cronograma. N. do T.) O prazo final do Projeto Genoma Humano obviamente fez a suposição (correta) de que a velocidade de nossos métodos para sequencializar códigos de DNA sofreria uma enorme aceleração ao longo do tempo. O mesmo fenômeno acontecerá com nossos projetos de varredura do cérebro humano. Nós podemos fazer isso agora muito lentamente, mas essa velocidade, assim como a maioria de todas as demais coisas governadas pela Lei dos Retornos Acelerados, ficará exponencialmente mais rápida nos próximos anos.

Agora suponha que, quando escanearmos Jack destrutivamente, simultaneamente instalaremos essa informação dentro do novo Jack. Podemos considerar isso um processo de “transferência” de Jack para seu novo cérebro e corpo. Então poderíamos dizer que Jack não foi destruído, mas apenas transferido para uma incorporação mais adequada. Mas isto não é equivalente a escanear Jack de modo não invasivo, subsequentemente instanciando o novo Jack e, em seguida, destruindo o velho Jack? Se essa sequência de passos basicamente equivale a matar o velho Jack, então esse processo de transferir Jack em uma única etapa deve significar a mesma coisa. Assim, podemos argumentar que qualquer processo de transferir Jack equivale ao velho Jack cometer suicídio, e que o novo Jack não é a mesma pessoa.

O conceito de escaneamento e reinstanciação da informação é familiar para nós por causa da tecnologia de teletransporte ficcional de *Jornada nas Estrelas*. Naquela série de televisão, a varredura e reconstituição são feitas presumivelmente em uma escala de nanoEngenharia, ou seja, partícula por

partícula, em vez de simplesmente se reconstituírem os algoritmos relevantes do processamento neural da informação visualizado acima. Mas o conceito é muito semelhante. Portanto, pode-se argumentar que os personagens de *Jornada nas Estrelas* estão cometendo suicídio toda vez que se teleportam, com novos personagens sendo criados. Esses novos personagens, embora essencialmente idênticos, são compostos de partículas inteiramente diferentes, a menos que imaginemos as mesmas partículas transmitidas para o próximo destino. Provavelmente seria mais fácil apenas transmitir simplesmente a informação e usar partículas locais para instanciar os novos corpos. Será que faz diferença? A consciência é uma função das partículas propriamente ditas ou simplesmente de seu padrão e de sua organização?

Podemos argumentar que consciência e identidade não são funções das partículas específicas, pois nossas próprias partículas estão mudando constantemente. Em um nível celular, nós mudamos a maioria de nossas células (embora não nossos neurônios) ao longo de um período de vários anos.² Em nível atômico, a mudança é muito mais rápida e inclui nossos neurônios. Não somos de forma alguma coleções permanentes de partículas. São os padrões de matéria e energia que são semipermanentes (isto é, mudam apenas gradualmente), mas nosso conteúdo material real está mudando constantemente, e muito rápido. Somos parecidos com os padrões que a água faz em uma corrente. A água que corre ao redor de uma formação de rochas faz um padrão único, particular. Esse padrão pode permanecer relativamente imutável por horas, até mesmo por anos. Naturalmente, o verdadeiro material que constitui o padrão a água é totalmente substituído em milissegundos. Isto nos diz que não devemos associar nossa identidade fundamental a conjuntos específicos de partículas, mas ao padrão de matéria e energia que representamos. Isto, então, nos diria que deveríamos pensar no novo Jack como sendo o mesmo que o velho Jack porque o padrão é o mesmo. (Pode-se reclamar que, enquanto o novo Jack tem uma funcionalidade semelhante à do velho Jack, ele não é idêntico. Entretanto, dizer isto é simplesmente se esquivar da questão essencial, pois nós podemos reformular o cenário com tecnologia de nanoEngenharia que copie Jack átomo a átomo, em vez de simplesmente copiar seus algoritmos relevantes de processamento de informação.)

Os filósofos contemporâneos parecem ser parciais com o argumento da “identidade a partir do padrão”. E, dado o fato de que nosso padrão muda apenas lentamente em comparação com nossas partículas, existe algum mérito aparente nessa visão. Mas o contra-argumento é o “velho Jack”, que está esperando ser extinto depois que seu “padrão” foi escaneado e instalado em um novo meio de computação; o “velho Jack” poderá subitamente perceber que o argumento da

“identidade a partir do padrão” é furado.

MENTE COMO MÁQUINA VERSUS MENTE ALÉM DA MÁQUINA

A ciência não pode resolver o mistério definitivo da natureza porque, em última análise, nós somos parte do mistério que estamos tentando resolver.

Max Planck

Tudo o que vemos não é senão um sonho dentro de um sonho?

Edgar Allan Poe

E se tudo for uma ilusão e nada existir? Neste caso, eu definitivamente paguei caro demais pelo meu tapete.

Woody Allen

A diferença entre a Experiência objetiva e a subjetiva

Será que conseguimos explicar a Experiência de mergulhar em um lago a alguém que jamais esteve imerso em água? E quanto ao êxtase do sexo a alguém que nunca teve sensações eróticas (supondo-se que exista uma pessoa dessas)? Será que conseguiríamos explicar as emoções evocadas pela música a alguém que é surdo de nascença? Uma pessoa surda certamente aprenderá muito sobre música, vendo pessoas dançarem ao seu ritmo, lendo sobre sua história e seu papel no mundo. Mas nada disso se equipara a vivenciar um prelúdio de Chopin.

Se eu vejo luz com um comprimento de onda de 0,000075 centímetros, vejo vermelho. Mude o comprimento de onda para 0,000035 centímetros e vejo violeta. As mesmas cores também podem ser produzidas, misturando-se luzes coloridas. Se luzes vermelha e verde forem combinadas de modo adequado, verei amarelo. Contudo, misturar pigmentos funciona de modo diferente de mudar comprimentos de onda, pois pigmentos subtraem cores, e não as adicionam. A percepção humana da cor é mais complicada do que a mera detecção de frequências eletromagnéticas, e ainda não a compreendemos inteiramente. Mas, mesmo que tivéssemos uma teoria completamente satisfatória de nosso processo mental, isso não transmitiria a Experiência subjetiva da “vermelhidade”, ou da “amarelidade”. Percebo que a linguagem é inadequada

para expressar minha Experiência de “vermelhidade”. Talvez eu consiga elaborar algumas reflexões poéticas a respeito, mas, a menos que você tenha tido o mesmo encontro, realmente não será possível para mim compartilhar minha Experiência.

Então, como é que eu posso saber que você vivenciou a mesma coisa quando fala de “vermelhidade”? Talvez você vivencie o vermelho da maneira que eu vivencio o azul, e vice-versa. Como podemos testar nossas suposições de que vivenciamos essas qualidades da mesma maneira? De fato, sabemos que existem algumas diferenças. Como eu tenho o que é erroneamente rotulado de daltonismo “verde-vermelho”, existem tonalidades de cor que me parecem idênticas e que, para outros, parecem diferentes. Aqueles de vocês que não possuem essa incapacidade aparentemente têm uma Experiência diferente da que eu tenho. O que vocês todos vivenciam? Jamais saberei.

Lulas gigantes são criaturas maravilhosamente sociáveis com olhos semelhantes em estrutura aos dos humanos (o que é surpreendente, devido à sua filogenia tão diferente) e possuem um sistema nervoso complexo. Alguns poucos cientistas humanos afortunados desenvolveram relacionamentos com esses inteligentes cefalópodes. Então, como é ser uma lula gigante? Quando a vemos responder ao perigo e expressar comportamentos que nos lembram uma emoção humana, inferimos uma Experiência com a qual estamos familiarizados. Mas e as Experiências deles sem uma contraparte humana?

Ou será que eles têm algum tipo de Experiência? Talvez eles sejam apenas como “máquinas” respondendo programaticamente a estímulos em seu ambiente. Talvez não haja ninguém em casa. Alguns humanos são dessa opinião: apenas humanos são conscientes; animais simplesmente respondem ao mundo por “instinto”, ou seja, como uma máquina. Para muitos outros humanos, inclusive este autor, parece aparente que pelo menos os animais mais evoluídos são criaturas conscientes, com base em percepções empáticas de animais expressando emoções que reconhecemos como correlatas de reações humanas. Mas mesmo esta é uma visão antropocêntrica de pensar, que só reconhece Experiências subjetivas com um equivalente humano. As opiniões sobre a consciência dos animais estão longe de ser unânimes. De fato, é a questão da consciência que está por trás da questão dos direitos dos animais. Os direitos dos animais disputam se determinados animais sofrem ou não em certas situações que resultam de nossa incapacidade geral de vivenciar ou medir a Experiência subjetiva de outra entidade.³

A visão não incomum de animais como sendo “apenas máquinas” é um disparate tanto para humanos quanto para máquinas. As máquinas, hoje, são ainda um milhão de vezes mais simples do que o cérebro humano. Sua

complexidade e sutileza, hoje, são comparáveis às de insetos. Existe relativamente pouca especulação sobre a Experiência subjetiva de insetos, embora, novamente, não exista forma convincente de medir isso. Mas a disparidade entre as capacidades de máquinas e os animais mais avançados, como a subespécie *Homo sapiens sapiens*, não vai durar muito tempo. O avanço implacável da inteligência das máquinas, que visitaremos nos próximos capítulos, levará as máquinas a níveis humanos de complexidade e refinamento, e, além disso, em algumas décadas. Essas máquinas serão conscientes?

E quanto ao livre-arbítrio? Será que máquinas de complexidade humana tomam suas próprias decisões, ou elas simplesmente seguem um programa, ainda que muito complexo? Existe alguma distinção a ser feita aqui?

A questão da consciência se esconde por trás de outras questões problemáticas. Por exemplo, a questão do aborto. O óvulo fertilizado é um ser humano consciente? E que tal um feto um dia antes do nascimento? É difícil dizer que um óvulo fertilizado seja consciente ou que um feto inteiramente desenvolvido não seja. Grupos a favor e contra o aborto têm medo da encosta escorregadia entre esses dois pontos definíveis. E a encosta é genuinamente escorregadia um feto humano desenvolve um cérebro rapidamente, mas não é imediatamente reconhecível como um ser humano. O cérebro de um feto se torna mais humano gradualmente. A encosta não tem cordilheiras em que se apoiar. E preciso admitir que outras questões de difícil definição, como a dignidade humana, entram no debate, mas, fundamentalmente, a contenção tem a ver com a senciência. Em outras palavras, quando temos uma entidade consciente?

Algumas formas graves de epilepsia têm sido tratadas por remoção cirúrgica da metade prejudicada do cérebro. Esta cirurgia drástica precisa ser feita durante a infância, antes que o cérebro tenha amadurecido completamente. Qualquer uma das metades do cérebro pode ser removida, e se a operação for bem-sucedida, a criança irá crescer razoavelmente normal. Isto implicaria que ambas as metades do cérebro têm suas próprias consciências? Talvez existam dois de nós em cada cérebro intacto que, esperamos, se deem bem um com o outro. Quem sabe não exista uma verdadeira miríade de consciências espreitando em um cérebro, cada qual com uma perspectiva diferente. Existe uma consciência que seja consciente de processos mentais que consideramos inconscientes?

Eu poderia continuar por muito tempo com esses enigmas. E, de fato, as pessoas têm pensado nesses enigmas há muito tempo. Platão, por exemplo, preocupava-se com essas questões. No *Fédon*, na *República* e no *Teeteto*, Platão expressou o profundo paradoxo inerente ao conceito de consciência e da capacidade aparente do humano de escolher com liberdade. Por um lado, os

seres humanos partilham do mundo natural e estão sujeitos às suas leis. Nossos cérebros são fenômenos naturais e assim devem seguir as leis de causa e efeito manifestas em máquinas e outras criaturas sem vida de nossa espécie. Platão estava familiarizado com a complexidade potencial das máquinas e de sua capacidade de emular processos lógicos elaborados. Por outro lado, a mecânica de causa e efeito, não importa o quanto seja complexa, não deveria, segundo Platão, dar margem à auto percepção ou à consciência. Platão primeiro tentou resolver esse conflito em sua teoria das Formas. A consciência não é um atributo da mecânica do pensamento, mas a realidade definitiva da existência humana. Nossa consciência, ou “alma”, é imutável e não intercambiável. Assim, nossa interação mental com o mundo físico está no nível da “mecânica” de nosso complicado processo de pensamento. A alma permanece à parte.

Mas não, isso não funciona, descobriu Platão. Se a alma não é intercambiável, então não pode aprender nem partilhar da razão, pois precisaria mudar para absorver e responder à Experiência. Platão termina insatisfeito com posicionar a consciência em qualquer um dos dois lugares: os processos racionais do mundo natural ou o nível místico da Forma ideal do self ou alma.⁴

O conceito de livre-arbítrio refletirá um paradoxo ainda mais profundo. O livre-arbítrio é comportamento com objetivo e tomada de decisões. Platão acreditava em uma “física corpuscular” baseada em regras fixas e determinadas de causa e efeito. Mas se a tomada de decisões humana é baseada em interações tão previsíveis de partículas básicas, nossas decisões devem também ser predeterminadas. Isso entraria em contradição com a liberdade humana de escolher. A adição da aleatoriedade às leis naturais é uma possibilidade, mas não soluciona o problema. A aleatoriedade eliminaria a predeterminação de decisões e ações, mas contradiz o objetivo do livre-arbítrio, pois nada há de objetivo na aleatoriedade.

Ok, vamos colocar livre-arbítrio na alma. Não, isso também não funciona. Separar o livre-arbítrio da mecânica racional de causa e efeito do mundo natural exigiria também colocar a razão e o aprendizado na alma, pois, do contrário, a alma não teria meios de tomar decisões importantes. Agora, a alma está por si só se tornando uma máquina complexa, que contradiz sua simplicidade mística.

Talvez por isso Platão tenha escrito diálogos. Assim, ele poderia expressar apaixonadamente ambos os lados dessas posições contraditórias. Sou simpático ao dilema de Platão. Nenhuma das posições óbvias é realmente suficiente. Uma verdade mais profunda só pode ser percebida, iluminando-se os lados opostos de um paradoxo.

Platão certamente não foi o último pensador a ponderar essas questões. Podemos identificar diversas escolas de pensamento sobre esses temas, nenhuma

delas muito satisfatória.

A escola da “consciência é apenas uma máquina refletindo sobre si mesma”

Uma abordagem comum é negar que a questão exista: a consciência e o livre-arbítrio são apenas ilusões induzidas pelas ambiguidades da linguagem. Uma pequena variação é que a consciência não é exatamente uma ilusão, mas apenas outro processo lógico. E um processo que responde e reage a si mesmo. Podemos embutir isso numa máquina: basta construir um procedimento que tenha um modelo de si mesmo, e que examine e responda aos seus próprios métodos. Permita que o processo reflita sobre si mesmo. Pronto, agora você tem consciência. É um conjunto de habilidades que evoluíram porque maneiras auto reflexivas de pensar são inerentemente mais poderosas.

A dificuldade em argumentar contra a escola de que “a consciência é apenas uma máquina refletindo sobre si mesma” é que esta perspectiva é auto consistente. Mas esse ponto de vista ignora o ponto de vista subjetivo. Ele pode lidar com uma pessoa relatando uma Experiência subjetiva, e pode relacionar relatos de Experiências subjetivas não só com relação ao comportamento externo, mas também a padrões de disparos neurais. E, se eu pensar a respeito, meu conhecimento da Experiência *subjetiva* de qualquer pessoa além de mim mesmo não é diferente (para mim) do que o resto do meu conhecimento objetivo. Não estou vivenciando as Experiências subjetivas de outras pessoas; apenas ouço falar delas. Então a única Experiência subjetiva que esta escola de pensamento ignora é a minha própria (isto é, afinal, o que o termo *Experiência subjetiva* significa). E, ei, eu sou só uma pessoa entre bilhões de humanos, trilhões de organismos potencialmente conscientes; todos os quais, com apenas uma exceção, não são eu.

Mas o fracasso em explicar minha Experiência subjetiva é sério. Ele não explica a distinção entre radiação eletromagnética de 0,000075 centímetros e minha Experiência de “vermelhidade”. Eu poderia aprender como a percepção das cores funciona, como o cérebro humano processa luz, como ele processa combinações de luz, até mesmo quais padrões de disparos neurais isto tudo provoca, mas ainda não consegue explicar a essência de minha Experiência.

Os positivistas lógicos⁵

Estou fazendo o melhor que posso para expressar o que estou falando aqui, mas, infelizmente, a questão não é inteiramente passível de apreensão. D. J. Chalmers descreveu o mistério da vida interior experimentada como o “difícil problema” da consciência, para distinguir essa questão do “problema fácil” de como o cérebro funciona.⁶ Marvin Minsky observou que “existe alguma coisa estranha sobre o ato de descrever a consciência: seja o que for que as pessoas tentem dizer, elas simplesmente não conseguem dizer isso de forma clara.” *E exatamente este o problema*, disse a escola de que “a consciência é apenas uma máquina refletindo sobre si mesma” falar de consciência como sendo outra coisa que não um padrão de disparos neurais é vagar para um reino místico além de qualquer esperança de verificação.

Esta visão objetiva é, às vezes, referida como positivismo lógico, uma filosofia codificada por Ludwig Wittgenstein, em seu *Tractatus Lógico-Philosophicus*. Para os positivistas lógicos, as únicas coisas sobre as quais vale a pena falar são nossas Experiências sensoriais diretas, e as inferências lógicas que podemos tirar delas. Sobre tudo o mais “se deve calar”, para citar a última afirmação de Wittgenstein em seu tratado.

Mas Wittgenstein não praticou o que pregava. Publicadas em 1953, dois anos após a sua morte, suas *Investigações Filosóficas* definiam essas questões dignas de contemplação como exatamente as questões sobre as quais ele anteriormente argumentara que deveriam ficar em silêncio.⁸ Aparentemente ele passou a ver que os antecedentes de sua última afirmação do *Tractatus* sobre o que não podemos falar são os únicos fenômenos reais válidos de se refletir. O último Wittgenstein influenciou fortemente os existencialistas, representando talvez a primeira vez desde Platão que um grande filósofo teve sucesso ao iluminar visões tão contraditórias.

Sobre mente e maquinas

Penso, logo existo

O primeiro Wittgenstein e os positivistas lógicos que ele inspirou são muitas vezes considerados como tendo suas raízes nas investigações filosóficas de René Descartes.⁹ O famoso dito de Descartes, “Penso, logo existo”, é frequentemente citado como emblemático do racionalismo ocidental. Esta visão interpreta Descartes como querendo dizer “Penso, ou seja, posso manipular lógica e símbolos; logo, sou valioso”. Mas, a meu ver, Descartes não pretendia elogiar as virtudes do pensamento racional. Ele estava perturbado pelo que se tornou conhecido como o problema mente-corpo, o paradoxo de como a mente pode

surgir da não-mente, como pensamentos e sentimentos podem surgir da matéria comum do cérebro. Forçando o ceticismo racional ao seu limite, o que a afirmação dele realmente quer dizer é “Penso, isto é, existe um inegável fenômeno mental, uma certa consciência, ocorrendo; logo, tudo o que sabemos ao certo é que alguma coisa vamos chamá-la de *eu* existe.” Visto dessa maneira, fica menor o abismo que normalmente é considerado entre Descartes e as ideias budistas sobre consciência como a realidade primária.

Antes de 2030, teremos máquinas proclamando o dito de Descartes. E não parecerá uma resposta programada. As máquinas serão honestas e convincentes. Será que deveremos acreditar nelas quando afirmarem ser entidades conscientes com vontade própria?

A escola da "consciência é um tipo de matéria diferente"

A questão da consciência e do livre-arbítrio tem sido, claro, uma grande preocupação do pensamento religioso. Aqui encontramos uma miríade de fenômenos, que variam da elegância dos conceitos budistas de consciência até panteões ornamentados de almas, anjos e deuses. Em uma categoria semelhante, existem teorias de filósofos contemporâneos que consideram a consciência como mais um fenômeno fundamental no mundo, como partículas e forças básicas. Chamo isso de escola da “consciência é um tipo de matéria diferente”. Considerando que esta escola implica uma interferência pela consciência no mundo físico que ignora a experimentação científica, a ciência tende a vencer devido à sua capacidade de verificar seus insights. Considerando que esta visão permanece apartada do mundo material, ela frequentemente cria um nível de misticismo complexo que não pode ser verificado e está sujeito a discordâncias. Considerando que ela mantém seu misticismo simples, ela oferece insights objetivos limitados, embora o insight subjetivo seja outra questão (tenho de admitir que gosto de um misticismo simples).

A escala "somos burros demais"

Outra abordagem é declarar que os seres humanos simplesmente não são

capazes de compreender a resposta. O pesquisador de inteligência artificial Douglas Hofstadter devaneia que “poderia ser simplesmente um acidente do destino que nossos cérebros sejam fracos demais para compreender a si mesmos”. Pense na inferior girafa, por exemplo, cujo cérebro está obviamente muito abaixo do nível exigido para autocompreensão e, no entanto, é notavelmente semelhante ao nosso cérebro.”¹⁰ Mas, até onde sei, girafas não costumam fazer essas perguntas (naturalmente, não sabemos sobre o que elas passam o tempo pensando). Em meu ponto de vista, se somos sofisticados o bastante para fazer essa pergunta, então somos avançados o suficiente para compreender as respostas. Entretanto, a escola “somos burros demais” ressalta que de fato estamos tendo dificuldades para formular essas perguntas com clareza.

Uma síntese de visões

Minha própria visão é que todas essas escolas estão corretas quando vistas em conjunto, mas insuficientes quando vistas uma de cada vez. Isto é, a verdade está em uma síntese dessas visões. Isso reflete minha educação religiosa unitária, na qual estudávamos todas as religiões do mundo, considerando-as “muitos caminhos para a verdade”. Naturalmente, minha visão pode ser considerada como a pior de todas. Superficialmente, minha visão é contraditória e não faz muito sentido. As outras escolas pelo menos podem afirmar um certo nível de consistência e coerência.

O pensamento é o que ele faz

Ah, sim, existe uma outra visão, que chamo de escola “o pensamento é o que ele faz”. Em um artigo de 1950, Alan Turing descreveu seu conceito do Teste de Turing, no qual um juiz humano entrevista um computador e um ou mais humanos, usando terminais (de modo que o juiz não tenha preconceitos contra o computador por não ter um aspecto bonitinho e simpático).¹¹ Se o juiz humano não for capaz de desmascarar de forma confiável o computador (como um humano impostor), então o computador vence. O teste costuma ser descrito como uma espécie de teste de **QI** de computadores, um meio de determinar se os computadores adquiriram um nível humano de inteligência. Em minha visão, no entanto, Turing realmente pretendia que seu Teste de Turing fosse um teste de pensamento, uma expressão que ele usa para implicar mais do que simplesmente uma manipulação inteligente de lógica e linguagem. Para Turing, pensar implica intencionalidade consciente.

Turing tinha uma compreensão implícita do crescimento exponencial do poder de computação, e previu que um computador passaria o exame com seu nome por volta do final do século. Ele observou que, nessa época, “o uso de palavras e a opinião culta geral terá se alterado tanto que seremos capazes de falar em máquinas pensantes sem esperar que nos contradigam.” Sua previsão foi otimista demais em termos de cronograma, mas, em minha visão, não errou por muito.

No fim, a previsão de Turing dá a pista de como a questão do pensamento do computador será resolvida. As máquinas nos convencerão de que são conscientes, de que têm sua própria agenda digna de nosso respeito. Acabaremos acreditando que elas são conscientes, assim como acreditamos isso uns dos outros. Mais do que com nossos amigos animais, sentiremos empatia com os sentimentos e conflitos que elas professarem porque as mentes delas serão baseadas no design do pensamento humano. Elas irão incorporar qualidades humanas e afirmarão ser humanas. E nós acreditaremos nelas.

A PERSPECTIVA DA MECÂNICA QUÂNTICA

Costumo sonhar com frequência que estou caindo. Esse tipo de sonho é lugar comum para os ambiciosos ou aqueles que escalam montanhas. Recentemente sonhei que estava me agarrando à face de um rochedo, mas escorregava. As pedras se esfarelavam em cascalho. Tentei agarrar um arbusto, mas ele se soltou e, aterrorizado, caí no abismo. Subitamente percebi que minha queda era relativa; não havia fundo e não havia fim. Uma sensação de prazer tomou conta de mim. Percebi que aquilo que eu incorporava, o princípio da vida, não pode ser destruído. Ele está escrito no código cósmico, na ordem do universo. Enquanto continuava a cair no vácuo negro, abraçado pela abóbada celeste, eu cantava para a beleza das estrelas e fiquei em paz com a escuridão.

- Heinz Pageis, físico e pesquisador em mecânica quântica, antes de sua morte num acidente de alpinismo, em 1988.

A visão *objetiva* ocidental afirma que após bilhões de anos de rodopios, matéria e energia evoluíram para criar formas de vida complexos padrões auto replicantes de matéria e energia que se tornaram suficientemente avançados para refletir sobre sua própria existência, sobre a natureza da matéria e da energia, sobre sua própria consciência. Em contraste, a visão *subjetiva* oriental afirma que a consciência veio primeiro: matéria e energia são simplesmente os pensamentos complexos de seres conscientes, ideia que não têm realidade sem um pensador.

Conforme observado acima, as visões objetiva e subjetiva da realidade têm entrado em conflito uma com a outra desde o início da história registrada. Contudo, muitas vezes existe mérito em combinar visões aparentemente irreconciliáveis para atingir uma compreensão mais profunda. Esse foi o caso da adoção da mecânica quântica há 50 anos. Em vez de reconciliar as visões de que a radiação eletromagnética (por exemplo, luz) era ou um feixe de partículas (ou seja, fótons) ou uma vibração (ou seja, ondas de luz), ambas as visões foram fundidas em uma dualidade irreduzível. Embora esta ideia seja impossível de apreender usando nossos modelos intuitivos de natureza, não somos capazes de explicar o mundo sem aceitar essa contradição aparente. Outros paradoxos da mecânica quântica (por exemplo, o "tunelamento" de elétrons, em que elétrons em um transistor aparecem em ambos os lados de uma barreira) ajudaram a criar a era da computação, e podem deflagrar uma nova revolução na forma do computador quântico,¹² mas trataremos

disso mais tarde.

Entretanto, quando passamos a aceitar esse paradoxo, coisas maravilhosas acontecem. Ao postular a dualidade da luz, a mecânica quântica descobriu um nexos essencial entre matéria e consciência. Partículas aparentemente não mudam de ideia quanto ao caminho que estão seguindo ou, mesmo, quanto ao caminho por onde passaram até serem forçadas a fazê-lo pelas observações de um observador consciente. Poderíamos dizer que elas parecem completamente inexistir retroativamente até e a menos que reparemos nelas.

Então, a ciência ocidental do século XX chegou até a visão oriental. O Universo é sublime o bastante para que a visão ocidental essencialmente objetiva da consciência, surgindo a partir da matéria, e a visão oriental essencialmente subjetiva da matéria, surgindo a partir da consciência, possam aparentemente coexistir como outra dualidade irreduzível. Obviamente, consciência, matéria e energia estão ligadas de modo inextricável.

Podemos observar aqui uma similaridade da mecânica quântica com a simulação em computador de um mundo virtual. Nos softwares de games de hoje que exibem imagens de um mundo virtual, as partes do ambiente que não estão sendo usadas em interação pelo usuário naquele instante (isto é, as partes fora da tela) normalmente não são computadas em detalhes, se é que chegam a sê-lo. Os recursos limitados do computador são direcionados para a renderização da parte do mundo que o usuário estiver vendo no momento. Quando o usuário volta seu foco para outro aspecto, os recursos computacionais são então imediatamente direcionados para a criação e a exibição dessa nova perspectiva. Assim, parece que as partes do mundo virtual que estão fora da tela ainda estão "ali" assim mesmo, mas os designers de software acreditam que não há motivo para desperdiçar ciclos valiosos de computação em regiões de seu mundo simulado que ninguém está vendo.

Eu diria que a teoria quântica implica uma eficiência semelhante no mundo físico. As partículas parecem não decidir onde estiveram até serem forçadas a fazer isso ao serem observadas. A implicação é que partes do mundo em que vivemos não são realmente "renderizadas" até que algum observador consciente volte sua atenção para elas. Afinal, não há motivo para desperdiçar valiosas "computações" do computador celestial que renderiza nosso Universo. Isto dá um novo sentido à questão sobre a árvore que cai na floresta e ninguém ouve.

SOBRE ESSA IDEIA DE CONSCIÊNCIA MÚLTIPLA, SERÁ QUE EU NÃO NOTARIA ISSO? QUERO DIZER, SE EU TIVESSE DECIDIDO FAZER UMA COISA, E ESSA OUTRA CONSCIÊNCIA EM MINHA CABEÇA SE ADIANTASSE E DECIDISSE OUTRA COISA?

Achei que você havia decidido não acabar aquele muffin que você acabou de devorar.

TOUCHÉ! OK, ISSO É UM EXEMPLO DO QUE VOCÊ ESTÁ FALANDO?

É um exemplo melhor de *A Sociedade da Mente*, de Marvin Minsky, onde ele concebe nossa mente como uma sociedade de outras mentes algumas como muffins, umas vãs, outras conscientes da saúde, umas tomam decisões, outras as violam. Cada uma dessas, por sua vez, é composta por outras sociedades. Na base dessa hierarquia, existem pequenos mecanismos que Minsky chama de agentes, com pouca ou nenhuma inteligência. É uma visão empolgante da organização da inteligência, incluir fenômenos como emoções mistas e valores conflitantes.

PARECE UMA ÓTIMA DEFESA NUM TRIBUNAL. “NÃO,

MERITÍSSIMO, NÃO FUI EU. FOI ESTA OUTRA GAROTA AQUI NA MINHA CABEÇA QUE COMETEU O ATO!”

Isso não vai lhe servir de muita coisa que o juiz decidir encarcerar a outra garota na sua cabeça.

ENTÃO ESPERO QUE TODA A SOCIEDADE EM MINHA CABEÇA FIQUE LONGE DE PROBLEMAS. MAS QUAIS MENTES EM MINHA SOCIEDADE DA MENTE SÃO CONSCIENTES?

Poderíamos imaginar que cada uma dessas mentes na sociedade da mente é consciente, embora as de menor patente tenham relativamente pouco do que ser conscientes. Ou, talvez, a consciência esteja reservada para as mentes de patente mais elevada. Ou, talvez, apenas certas combinações de mentes de patente mais elevada sejam conscientes, ao passo que outras, não. Ou talvez...

AGORA, ESPERE UM SEGUNDO: COMO É QUE PODEMOS SABER QUAL A RESPOSTA CORRETA?

Acredito que, na verdade, não haja como dizer. Que Experiência possível poderíamos executar que provasse de modo conclusivo se uma entidade ou um processo é consciente? Se a entidade diz: “Ei, eu sou consciente mesmo”, será que isso resolve a questão? Se a entidade for muito convincente quando expressar uma emoção professada, isto será uma prova definitiva? Se olharmos com cuidado seus métodos internos e virtuos loops de feedback nos quais o processo examina e responde a si mesmo, isso quer dizer que ela seja consciente? Se observarmos certos tipos de padrões em seus disparos neuronais, isso seria convincente? Filósofos contemporâneos, como Daniel Dennett, parecem acreditar que a consciência de uma entidade é um atributo testável e mensurável. Mas eu acho que a ciência trata inerentemente da realidade objetiva. Não vejo como ela pode violar até o nível subjetivo.

QUEM SABE SE ESSA COISA PASSASSE PELO TESTE DE TURING?

Era isso o que Turing tinha em mente. Não tendo nenhum modo concebível de construir um detector de consciência, ele determinou uma abordagem prática, que enfatiza nossa exclusiva aptidão humana para linguagem. E eu acho que Turing tinha razão, de certa forma: se uma máquina puder passar num Teste de Turing válido, creio que vamos acreditar que ela seja consciente. Naturalmente, isso ainda não é uma demonstração científica.

A proposição da conversa, entretanto, não é atraente. Baleias e elefantes têm cérebros maiores que nós e exibem um amplo espectro de comportamentos que observadores experientes consideram inteligentes. Eu os considero criaturas conscientes, mas elas não estão em posição de passar no Teste de Turing.

ELAS TERIAM DIFICULDADES PARA DIGITAR NAS TECLAS

PEQUENAS DO MEU COMPUTADOR.

De fato, pois não têm dedos. Elas também não são proficientes em linguagens humanas. O Teste de Turing é, claramente, uma medição centrada em humanos.

EXISTE ALGUMA RELAÇÃO ENTRE ESSE NEGÓCIO DE CONSCIÊNCIA E A QUESTÃO DE TEMPO SOBRE A QUAL FALAMOS ANTERIORMENTE?

Sim, nós temos claramente uma percepção do tempo. Nossa Experiência subjetiva da passagem do tempo e lembre-se de que *subjetiva* é apenas outra palavra para consciente é governada pela velocidade de nossos processos objetivos. Se alterarmos esta velocidade, alternando nosso substrato computacional, afetamos nossa percepção do tempo.

EXPLIQUE ISSO PARA MIM NOVAMENTE.

Vamos dar um exemplo. Se eu fizer uma varredura no seu cérebro e no seu sistema nervoso com uma tecnologia de scanner não invasiva e adequadamente avançada do começo do século XXI uma ressonância magnética de alta largura de banda e resolução muito alta, talvez me certificar de que todos os processos relevantes de informação e, em seguida, efetuar um download dessa informação para meu computador neural adequadamente avançado, terei um pouco de você, ou pelo menos alguém muito parecido com você bem aqui em meu computador pessoal.

Se meu computador pessoal for uma rede neural de neurônios simulados feitos de material eletrônico em vez de humano, a versão de você em meu computador rodará cerca de um milhão de vezes mais rápido. Então, uma hora para mim seria um milhão de horas para você, o que é cerca de um século.

AH, ISSO É ÓTIMO, VOCÊ VAI ME JOGAR NO SEU COMPUTADOR PESSOAL, E DEPOIS ESQUECER-SE DE MIM POR UM MILÊNIO SUBJETIVO OU DOIS.

Vamos ter que tomar cuidado com isso, não é?

Capítulo Quatro

UMA NOVA FORMA DE INTELIGÊNCIA NA TERRA

O MOVIMENTO PELA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

E se essas teorias forem realmente verdadeiras, e nós fossemos magicamente encolhidos e colocados dentro do cérebro de alguém enquanto ele estivesse pensando? Veríamos todas as bombas, pistões, engrenagens e alavancas funcionando, e seríamos capazes de descrever completamente o funcionamento delas, assim descrevendo completamente os processos de pensamento do cérebro. Mas essa descrição não conteria em parte alguma qualquer menção ao pensamento! Não conteria nada além de descrições de bombas, pistões, alavancas!

- Gottfried Wilhelm Leibniz

Burrice artificial (BA) pode ser definida como a tentativa, da parte de cientistas da computação, de criar programas de computador capazes de provocar problemas de um tipo normalmente associado ao pensamento humano.

- Wallace Marshal

Inteligência artificial (IA) é a ciência de como fazer com que as máquinas façam as coisas que elas fazem nos filmes.

- Astro Teller

A balada de Charles e Ada

Voltando à evolução das máquinas inteligentes, encontramos Charles Babbage sentado nos aposentos da Sociedade Analítica em Cambridge, Inglaterra, em 1821, com uma tabela de logaritmos à sua frente.

- Ora, Babbage, você está sonhando com o quê? perguntou-lhe outro membro, vendo Babbage semi-adormecido.

- Estou pensando que todas estas tabelas poderiam ser calculadas por máquinas! respondeu Babbage.

Daquele momento em diante, Babbage dedicou a maior parte de seu tempo a

uma visão sem precedentes: o primeiro computador programável do mundo. Embora baseado inteiramente na tecnologia mecânica do século XIX, a “Máquina Analítica” de Babbage foi uma previsão notável do computador moderno.¹

Babbage desenvolveu uma ligação com a bela Ada Lovelace, a única filha legítima de Lord Byron, o poeta. Ela se tornou tão obcecada com o projeto quanto Babbage, e contribuiu com muitas das ideias para programar a máquina; incluindo a invenção do loop de programação e da sub-rotina. Ela foi a primeira engenheira de software do mundo, na verdade a única engenheira de software antes do século XX.

Lovelace estendeu de modo significativo as ideias de Babbage e escreveu um artigo sobre técnicas de programação, programas de amostra, e o potencial dessa tecnologia para emular atividades humanas inteligentes. Ela descreve as especulações de Babbage e dela própria sobre a capacidade da Máquina Analítica, e máquinas futuras como ela, para jogar xadrez e compor música. Finalmente conclui que, embora as computações da Máquina Analítica não pudessem ser consideradas adequadamente como “pensamentos”, poderiam, mesmo assim, executar atividades que exigissem uma extensa aplicação do pensamento humano.

A história de Babbage e Lovelace terminou tragicamente. Ela teve uma morte horrível por câncer, aos 36 anos de idade, deixando Babbage sozinho em sua busca. Apesar de suas construções engenhosas e de seu esforço exaustivo, a Máquina Analítica nunca foi terminada. Perto de sua morte, ele observou que jamais tivera um dia feliz em sua vida. Os registros do funeral de Babbage, em 1871, dão conta de que apenas algumas pessoas compareceram.²

O que sobreviveu foram as ideias de Babbage. O primeiro computador programável americano, o Mark I, completado em 1944 por Howard Aiken, da Harvard University, e pela IBM, pegou muita coisa emprestada da arquitetura traçada por Babbage. Aiken fez o seguinte comentário: “Se Babbage tivesse vivido mais 75 anos, eu não teria emprego.”³

Babbage e Lovelace foram inovadores um século adiante de seu tempo. Apesar da incapacidade de Babbage em terminar qualquer uma de suas grandes iniciativas, os conceitos deles de um computador com programa armazenado, código automodificador, memória endereçável, ramificação condicional e a programação propriamente dita ainda formam a base dos computadores de hoje.⁴

Alan Turing, mais uma vez

Em 1940, Hitler já havia conquistado a maior parte do continente europeu, e a Inglaterra estava se preparando para uma invasão antecipada. O governo britânico organizou seus melhores matemáticos e engenheiros elétricos, sob a liderança intelectual de Alan Turing, com a missão de quebrar o código militar alemão. Era de conhecimento geral que, com a força aérea alemã desfrutando de superioridade nos céus, o fracasso dessa missão provavelmente condenaria a nação. Para não sofrerem distrações em sua tarefa, o grupo foi levado para viver nas pastagens tranquilas de Hertfordshire, Inglaterra.

Turing e seus colegas construíram o primeiro computador operacional do mundo a partir de relés telefônicos e o batizaram de Robinson,⁵ em homenagem a um cartunista muito famoso que desenhava máquinas à “Rube Goldberg” (maquinarias excessivamente ornamentadas com muitos mecanismos de interação). O próprio Rube Goldberg do grupo teve um sucesso incrível e forneceu aos britânicos uma transcrição de quase todas as mensagens nazistas significativas. Quando os alemães aumentaram a complexidade de seu código (adicionando mais engrenagens de código à sua máquina codificadora Enigma), Turing substituiu a inteligência eletromagnética de Robinson por uma versão eletrônica chamada Colossus, construída com duas mil válvulas de rádio. Colossus e nove máquinas semelhantes rodando em paralelo forneceram uma decodificação ininterrupta de informações militares vitais para o esforço de guerra dos Aliados.

O uso dessas informações exigia atos supremos de disciplina da parte do governo britânico. Cidades que seriam bombardeadas por aeronaves nazistas não foram avisadas com antecedência, para que os preparativos não levantassem suspeitas dos alemães de que seu código havia sido quebrado. As informações fornecidas por Robinson e por Colossus foram usadas somente com a maior discrição, mas a quebra do Enigma foi o bastante para permitir que a Força Aérea Real vencesse a Batalha da Grã-Bretanha.

Assim, impulsionada pelas exigências da guerra, e tendo como fonte uma série de tradições intelectuais diferentes, uma nova forma de inteligência emergiu na Terra.

O nascimento da inteligência artificial

A semelhança do processo computacional com o processo do pensamento humano não passou despercebida a Turing. Além de ter estabelecido grande parte das bases teóricas da computação e de ter inventado o primeiro computador operacional, ele foi fundamental nos primeiros esforços para aplicar esta nova tecnologia à emulação da inteligência.

Em seu artigo clássico de 1950, *Computing machinery and intelligence*, Turing descreveu uma agenda que, na verdade, ocuparia os próximos 50 anos de pesquisas avançadas em computação: teoria dos jogos, tomada de decisões, compreensão de linguagem natural, tradução, comprovação de teoremas, e, claro, encriptação e a quebra de códigos.⁶ Ele escreveu (com seu amigo David Champernowne) o primeiro programa de jogo de xadrez.

Como pessoa, Turing era fora do convencional e extremamente sensível. Tinha um amplo espectro de interesses incomuns, de violino a morfogênese (a diferenciação de células). Houve uma exposição pública de sua homossexualidade, que o perturbou muito, e ele morreu aos 41 anos de idade, provavelmente por suicídio. (Segundo o biógrafo de Turing, Andrew Hodges, Turing foi preso e processado pois o homossexualismo era crime na Inglaterra até os anos 1980. Condenado a se submeter a um humilhante e doloroso tratamento hormonal, que supostamente garantiria seu retorno a um comportamento sexual normal, Turing entrou em depressão. Foi encontrado morto em sua casa, tendo na cabeceira da cama uma maçã envenenada da qual havia se alimentado. O detalhe irônico: um dos filmes prediletos de Turing era Branca de Neve. - N. T.)

As coisas difíceis foram fáceis

Na década de 1950, o progresso vinha tão rápido que alguns dos primeiros pioneiros acharam que dominar a funcionalidade do cérebro humano poderia não ser assim tão difícil, afinal. Em 1956, os pesquisadores de IA Allen Newell, J. C. Shaw e Herbert Simon criaram um programa chamado Logic Theorist (e, em 1957, uma versão posterior chamada General Problem Solver), que usava técnicas recursivas de busca para solucionar problemas matemáticos.⁷ A recursão, conforme veremos mais adiante neste capítulo, é um poderoso método de definir uma solução em termos de si mesma. Os programas Logic Theorist e General Problem Solver foram capazes de encontrar comprovações para muitos dos principais teoremas da obra seminal de Bertrand Russell e Alfred North Whitehead sobre teoria dos conjuntos, *Principia Mathematica*,⁸ incluindo uma prova completamente original para um importante teorema que nunca antes havia sido resolvido. Esses primeiros sucessos levaram Simon e Newell a dizerem em um artigo de 1958, intitulado *Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research*, “existem hoje no mundo máquinas que pensam, que aprendem e que criam. Além do mais, a habilidade que elas possuem para fazer essas coisas vai aumentar rapidamente até que em um futuro visível o leque de problemas com os quais elas poderão lidar será co-extensivo com o alcance para o qual a mente humana tem sido aplicada.”⁹ O artigo segue, prevendo que, em dez anos (ou seja, em 1968), um computador digital seria o campeão mundial de xadrez. Uma década mais tarde, um Simon impenitente

previu que, em 1985, “as máquinas serão capazes de fazer qualquer trabalho que um homem pode fazer.” Talvez Simon estivesse pensando em fazer um comentário favorável sobre as capacidades das mulheres, mas essas previsões, decididamente mais otimistas do que as de Turing, envergonharam o campo nascente da LA.

O campo tem sido inibido por essa declaração embaraçosa até os dias de hoje, e, desde então, os pesquisadores de IA são reticentes em seus prognósticos. Em 1997, quando Deep Blue derrotou Garry Kasparov, na época o campeão mundial de xadrez humano, um professor proeminente comentou que tudo o que havíamos aprendido era que jogar um jogo de campeonato de xadrez não requer inteligência, afinal de contas.¹⁰ A implicação é que capturar inteligência *de verdade* em nossas máquinas permanece bem além de nosso alcance. Embora eu não deseje reforçar em demasia o significado da vitória de Deep Blue, acredito que dessa perspectiva acabaremos descobrindo que não existem atividades humanas que exijam inteligência “de verdade”.

Durante a década de 1960, o campo acadêmico da IA começou a tornar realidade a agenda que Turing havia descrito em 1950, com resultados encorajadores ou frustrantes, dependendo de seu ponto de vista. O programa Student, de Daniel G. Bobrow, conseguia resolver problemas de álgebra a partir de histórias escritas em língua inglesa natural e os relatos são de que ele teve um bom desempenho em testes de matemática de nível de segundo grau.¹¹ O mesmo desempenho foi reportado a respeito do programa Analogy, de Thomas G. Evans, para resolução de problemas de geometria analógica para testes de QI.¹² O campo de sistemas especialistas foi iniciado com o DENDRAL, de Edward A. Feigenbaum, que conseguia responder a perguntas sobre compostos químicos.¹³ E a compreensão da linguagem natural começou com o SHRDLU, de Terry Winograd, que conseguia compreender qualquer sentença em inglês que fizesse sentido, desde que você conversasse sobre blocos coloridos.¹⁴

O conceito de criar uma nova forma de inteligência na Terra emergiu com uma paixão intensa e, muitas vezes, sem crítica simultaneamente com o hardware eletrônico no qual seria baseada. O entusiasmo sem limites dos primeiros pioneiros do campo também levou a muitas críticas desses primeiros programas pela incapacidade deles em reagir de modo inteligente em uma série de situações diferentes. Alguns críticos, mais notavelmente o filósofo existencialista e fenomenologista Hubert Dreyfus, previram que as máquinas jamais chegariam a níveis humanos de habilidade em áreas que variam do jogo de xadrez a escrever livros sobre computadores.

Acontece que os problemas que achávamos que eram difíceis resolver

teoremas matemáticos, jogar partidas respeitáveis de xadrez, raciocinar dentro de domínios como química e medicina eram fáceis, e os computadores de milhares de instruções por segundo das décadas de 1950 e 1960 foram muitas vezes adequados para fornecer resultados satisfatórios. O que se provou complicado foram as habilidades que qualquer criança de cinco anos possui: dizer a diferença entre um cachorro e um gato, ou compreender um desenho animado. Vamos falar mais a respeito por que os problemas fáceis são difíceis na Parte II.

Esperando a verdadeira inteligência artificial

Os anos 1980 viram a primeira comercialização da inteligência artificial com uma onda de novas empresas de IA se formando e abrindo seu capital. Infelizmente, muitas cometeram o erro de se concentrar em uma linguagem interpretativa poderosa, mas inerentemente ineficiente chamada **LISP**, que era popular nos círculos acadêmicos de IA. O fracasso comercial da **LISP** e das empresas de IA que deram ênfase a ela criou um retrocesso. O campo de IA começou a descartar suas disciplinas constituintes, e empresas que lidavam com compreensão de linguagem natural, reconhecimento de caracteres e de fala, robótica, visão de máquina e outras áreas originalmente consideradas parte da disciplina de IA agora recusavam associação com o rótulo desse campo.

Mesmo assim, máquinas com inteligência de foco altamente concentrado começaram a se tornar cada vez mais presentes no cotidiano. Em meados dos anos 1990, vimos a infiltração de nossas instituições financeiras por sistemas que usavam poderosas técnicas estatísticas e adaptativas. Não só os mercados de ações, títulos, moeda, commodities e de outros tipos começaram a ser gerenciados e mantidos por redes computadorizadas como a maioria das decisões de compra e venda eram iniciadas por programas de software que continham modelos cada vez mais sofisticados de seus mercados. A culpa pelo crash do mercado de ações de 1987 foi colocada, em grande parte, na interação rápida dos programas de trading. Tendências que de outra forma teriam levado semanas para se manifestar se desenvolveram em minutos. Modificações adequadas nesses algoritmos conseguiram evitar a repetição desse desempenho.

Desde 1990, o eletrocardiograma (ECG) ficou completo com o diagnóstico que o próprio computador faz da saúde cardíaca do paciente. Programas inteligentes de processamento de imagem permitem que médicos façam exames profundos em nossos corpos e cérebros, e a tecnologia de bioEngenharia computadorizada permite que drogas sejam projetadas em simuladores bioquímicos. Os deficientes foram beneficiários particularmente afortunados da era das máquinas inteligentes. Máquinas de leitura têm lido para cegos e pessoas

com dislexia desde a década de 1970, e dispositivos robóticos e de reconhecimento de fala têm auxiliado indivíduos com deficiências nas mãos desde a década de 1980.

Talvez a exibição pública mais dramática da mudança de valores da era do conhecimento tenha acontecido no campo militar. Vimos o primeiro exemplo eficiente do papel cada vez mais dominante da inteligência de máquina na Guerra do Golfo de 1991. As bases do poder militar desde o início da história registrada até a maior parte do século XX geografia, poder humano, poder de fogo e estações de batalha para defesa foram substituídas, em grande parte, pela inteligência de software e eletrônicos. Varredura inteligente por veículos aéreos não tripulados, armas que acham o caminho até seus destinos por intermédio de visão de máquina e reconhecimento de padrões, comunicações inteligentes e protocolos de codificação e outras manifestações da era da informação transformaram a natureza da guerra.

Espécies invisíveis

Com o papel cada vez mais importante das máquinas inteligentes em todas as fases de nossas vidas militares, médicas, econômicas e financeiras, políticas é estranho continuar lendo artigos com títulos do tipo *O que aconteceu com a inteligência artificial?* Este é um fenômeno que Turing havia previsto: o de que a inteligência das máquinas se tornasse tão penetrante, tão confortável e tão bem integrada à nossa economia baseada em informação que as pessoas sequer conseguiriam se dar conta disso.

Isso me faz lembrar de pessoas que caminham pela Floresta Amazônica e perguntam: “Onde é que estão todas aquelas espécies que deviam viver aqui?” quando, só de formigas, existem dezenas de espécies a apenas 15 metros delas. Nossas muitas espécies de inteligência de máquina penetraram tão fundo em nossa moderna Floresta Amazônica, que são praticamente invisíveis.

Turing ofereceu uma explicação sobre por que não conseguiria reconhecer a inteligência em nossas máquinas. Em 1947, ele escreveu: “A extensão até onde consideramos algo como se comportando de maneira inteligente é determinada tanto pelo nosso próprio estado de espírito e treinamento quanto pelas propriedades do objeto sob consideração. Se formos capazes de explicar e prever seu comportamento, ficaremos pouco tentados a imaginar inteligência. Com o mesmo objeto, portanto, é possível que um homem o considere como inteligente e outro, não; o segundo homem teria descoberto as regras de seu comportamento.”

Embri-me também da definição de Elaine Rich para inteligência artificial,

como o “estudo de como fazer os computadores fazerem coisas em que, no momento, as pessoas são melhores.”

E nosso destino como pesquisadores de inteligência artificial jamais pegar a cenoura que está pendurada à nossa frente. A inteligência artificial é definida inerentemente como a busca de difíceis problemas de computação que ainda não foram resolvidos.

A FÓRMULA DA INTELIGÊNCIA

O programador de computadores é um criador de universos dos quais somente ele é o legislador... Nenhum dramaturgo, nenhum diretor de teatro, nenhum imperador, par mais poderoso que seja, jamais exerceu tamanha autoridade absoluta para arranjar um palco ou um campo de batalha e comandar atores ou tropas de obediência tão indiscutível.

- Joseph Weizenbaum

Um castor e outro animal da floresta estão contemplando uma imensa represa feita pelo homem. O castor está dizendo alguma coisa do tipo: “Não, essa aí eu não construí. Mas foi baseada numa ideia minha.”

- Edward Fredkin

Coisas simples deveriam ser simples; coisas complexas deveriam ser possíveis.

- Alan Kay

O que é inteligência?

Um objetivo pode ser sobrevivência: escapar de um inimigo, procurar comida, encontrar abrigo. Ou poderia ser comunicação: relatar uma Experiência, evocar um sentimento. Ou, talvez, seja participar de um passatempo: jogar um jogo de tabuleiro, solucionar um puzzle, pegar uma bola de beisebol. As vezes é buscar a transcendência: criar uma imagem, compor uma passagem musical. Um objeto pode muito bem ser definido e único, como na solução de um problema

matemático. Ou pode ser uma expressão pessoal sem uma resposta correta e clara.

Meu ponto de vista é que a inteligência é a capacidade de utilizar recursos limitados de maneira ideal incluindo o tempo para atingir esses objetivos. Existe uma pletora de outras definições. Uma de minhas favoritas é a de R. W. Young, que define inteligência como “aquela faculdade da mente pela qual a ordem é percebida em uma situação anteriormente considerada em desordem.”¹⁵ Para esta definição, descobriremos que o paradigma discutido abaixo é um tanto adequado.

A inteligência rapidamente cria planos satisfatórios, e às vezes surpreendentes, que encontram uma série de obstáculos. Os produtos da inteligência podem ser inteligentes, engenhosos, inspirados ou elegantes. As vezes, como foi o caso da solução de Turing para quebrar o código Enigma, uma solução inteligente exhibe todas essas qualidades. Truques modestos podem produzir acidentalmente uma resposta inteligente de tempos em tempos, mas um verdadeiro processo inteligente que cria soluções inteligentes de modo confiável vai inerentemente além de uma simples receita. Obviamente, nenhuma fórmula simples consegue emular o mais poderoso fenômeno no Universo, o processo complexo e misterioso da inteligência.

Na verdade, isto está errado. Tudo o que basta para resolver uma área surpreendentemente vasta de problemas inteligentes é exatamente o seguinte: métodos simples combinados com altas doses de computação (o que, em si mesmo, é um processo simples, como Alan Turing demonstrou, em 1936, com sua concepção da Máquina de Turing,¹⁶ um modelo elegante de computação) e exemplos do problema. Em alguns casos, não precisamos sequer deste último; apenas uma declaração bem definida do problema basta.

Até que ponto podemos ir com paradigmas simples? Existe alguma classe de problemas inteligentes capazes de ser respondidos com abordagens simples, com outra classe, mais penetrante, que esteja além de seu alcance? Acontece que a classe de problemas solucionáveis com abordagens simples é exterior. Em última análise, com suficiente força bruta computacional (que será vasta no século XXI) e as fórmulas certas na combinação certa, existem poucos problemas definíveis que não possam ser resolvidos. A não ser, talvez, pelo seguinte problema: qual é o conjunto completo de fórmulas unificadoras que compõem a inteligência?

A evolução determinou uma resposta para esse problema em alguns bilhões de anos. Tivemos um bom começo em alguns milhares de anos. Provavelmente terminaremos o serviço em mais algumas décadas.

Esses métodos, descritos rapidamente abaixo, serão discutidos com mais detalhes na seção suplementar ao final deste livro, “Como Construir uma

Máquina Inteligente em Três Fáceis Paradigmas”.

Vamos dar uma olhada em alguns paradigmas simples, porém poderosos. Com um pouco de prática, você também pode construir máquinas inteligentes.

A fórmula recursiva: basta expor o problema cuidadosamente

Um procedimento recursivo é aquele que chama a si mesmo. Recursão é uma abordagem útil para gerar todas as soluções possíveis de um problema, ou, no contexto de um jogo como o xadrez, todas as sequências possíveis de movimentos e contra movimentos.

Considere o jogo de xadrez. Construímos um programa chamado “Escolha o Melhor Movimento” para selecionar cada movimento. Escolha o Melhor Movimento começa relacionando todos os movimentos possíveis de que precisamos para considerar com precisão as regras do jogo. Para cada movimento, o programa constrói um tabuleiro hipotético que reflete o que aconteceria se fizéssemos aquele movimento. Para cada um desses tabuleiros hipotéticos, precisamos agora levar em conta o que nosso oponente faria se fizéssemos tal movimento. Agora entra a recursão, pois Escolha o Melhor Movimento simplesmente invoca Escolha o Melhor Movimento (ou seja, ele próprio) para escolher o melhor movimento para nosso oponente. Ao chamar a si mesmo, Escolha o Melhor Movimento relaciona em seguida todos os movimentos legais para nosso oponente.

O programa continua chamando a si mesmo, olhando para o maior número de movimentos à frente que tivermos tempo de considerar, o que resulta na geração de uma enorme árvore de movimentos-contramovimentos. Este é outro exemplo do crescimento exponencial, porque olhar adiante para um meio-movimento adicional requer multiplicar a quantidade de computação disponível por cerca de cinco.

Essencial para a fórmula recursiva é podar essa imensa árvore de possibilidades e, em último caso, deter o crescimento recursivo da árvore. No contexto do jogo, se um tabuleiro olha desesperado para todos os lados, o programa pode interromper a expansão da árvore de movimentos-contramovimentos a partir daquele ponto (chamado de “folha terminal” da árvore) e considerar o movimento mais recente como uma provável vitória ou derrota.

Quando todos esses programas aninhados são completados, o programa terá determinado o melhor movimento possível para o tabuleiro verdadeiro atual, dentro dos limites da profundidade da expansão recursiva que teve tempo de perseguir.

A fórmula recursiva foi boa o bastante para construir uma máquina um

supercomputador da IBM especialmente projetado que derrotou o campeão mundial de xadrez (embora o Deep Blue aumente a fórmula recursiva com bancos de dados de movimentos da maioria dos jogos de grandes mestres do século XX). Há dez anos, em *The age of intelligent machines*, observei que, enquanto os melhores computadores de xadrez estavam ganhando em classificações de xadrez por 45 pontos por ano, os melhores humanos estavam avançando próximo a zero pontos. Isso determinou que o ano no qual um computador derrotaria o campeão humano de xadrez como 1998, o que foi bastante pessimista por um ano. Espero que minhas previsões neste livro sejam mais precisas.¹⁷

Nossa simples regra recursiva joga um jogo de xadrez de nível de campeonato mundial. Uma questão razoável, então, é: o que mais ela pode fazer? Nós certamente podemos substituir o módulo que gera movimentos de xadrez por um módulo programado com as regras de outro jogo. Enfie na máquina um módulo que conhece as regras do jogo de damas, e você também poderá vencer praticamente qualquer humano. A recursão é realmente boa no gamão. O programa de Hans Berliner derrotou o campeão humano de gamão com os computadores lentos que tínhamos em 1980.¹⁸

A fórmula recursiva também é uma matemática muito boa. Aqui o objetivo é resolver um problema matemático, como provar um teorema. As regras então se tornam os axiomas do campo da matemática que está sendo tratado, assim como teoremas comprovados anteriormente. A expansão em cada ponto é o axioma possível (ou teoremas comprovados anteriormente) que pode ser aplicado a uma prova em cada etapa. Esta foi a abordagem usada por Allen Newell, J. C. Shaw e Herbert Simon em seu General Problem Solver, de 1957. O programa deles superou Russell e Whitehead em alguns problemas difíceis de matemática, e assim alimentou o otimismo inicial do campo da inteligência artificial.

A partir desses exemplos, pode parecer que a recursão é bastante adequada apenas para problemas nos quais temos regras e objetivos muito bem definidos. Mas ela também mostrou promessas na geração por computador de criações artísticas. O Cybernetic Poet, de Ray Kurzweil, por exemplo, utiliza uma abordagem recursiva.¹⁹ O programa estabelece um conjunto de objetivos para cada palavra atingindo um certo padrão rítmico, estrutura de poema e escolha de palavras que seja desejável naquele ponto do poema. Se o programa não for capaz de encontrar uma palavra que atenda a esses critérios, então ele recua e apaga a palavra anterior que escreveu, reestabelece os critérios que havia originalmente definido para a palavra que acabou de ser apagada, e segue em frente a partir dali. Se isso também levar a um beco sem saída, ele torna a recuar. Assim, ele segue para frente e para trás, torcendo para “se decidir” em algum

ponto. Enfim, ele se força a se decidir relaxando algumas das restrições se todos os caminhos levarem a becos sem saída. Afinal, ninguém jamais saberá se ele quebrar suas próprias regras.

A recursão também é popular em programas que compõem música.²⁰ Neste caso, os “movimentos” são bem definidos. Nós os chamamos de notas, que possuem propriedades como timbre, duração, volume e estilo de tocar. Os objetivos são mais difíceis de definir, mas ainda são viáveis se os definirmos em termos de estruturas rítmicas e melódicas. A chave para programas artísticos recursivos é como definimos a avaliação da folha terminal. Abordagens simples nem sempre funcionam bem aqui, e alguns dos programas de arte e música cibernética sobre os quais falaremos mais tarde usam métodos complexos para avaliar as folhas terminais. Embora ainda não tenhamos capturado toda a inteligência em uma fórmula simples, fizemos muito progresso com esta simples combinação: definir recursivamente uma solução por intermédio de uma declaração precisa do problema e de computação maciça. Para muitos problemas, um computador pessoal, por volta do fim do século XX, já era maciço o suficiente.

Redes neurais: auto-organização e computação humana

O paradigma da rede neural é uma tentativa de emular a estrutura de computação dos neurônios no cérebro humano. Começamos com um conjunto de inputs que representa um problema a ser resolvido.²¹ Por exemplo, o input pode ser um conjunto de pixels que representa uma imagem que precisa ser identificada. Esses inputs são cabeados aleatoriamente, a uma camada de programas que simulam um modelo de um neurônio em software, ou podem ser implementações eletrônicas.

Cada ponto do input (por exemplo, cada pixel em uma imagem) é conectado de modo aleatório aos inputs da primeira camada de neurônios simulados. Cada conexão tem uma força sináptica associada que representa a importância dessa conexão. Essas forças também são definidas em valores aleatórios. Cada neurônio acrescenta e aumenta os sinais que vêm dele. Se o sinal combinado exceder um limite, então o neurônio dispara e envia um sinal para sua conexão de saída. Se o sinal de input combinado não exceder o limiar, então o neurônio não dispara e sua saída é zero. A saída de cada neurônio está conectada de modo aleatório aos inputs dos neurônios na camada seguinte. Na camada superior, a saída de um ou mais neurônios, também selecionados de modo aleatório, fornece a resposta.

Um problema, como uma imagem de um caractere impresso a ser

identificado, é apresentado à camada de entrada, e os neurônios de saída fornecem uma resposta. E as respostas são notavelmente precisas para um amplo espectro de problemas.

Na verdade, as respostas não são nem um pouco precisas. Pelo menos não no começo. Inicialmente, a saída é completamente aleatória. O que mais você esperaria, já que todo o sistema está montado de modo inteiramente aleatório?

Deixei de fora uma etapa importante, que é aquela em que a rede neural precisa *aprender* seu tema. Assim como o cérebro mamífero a partir do qual ele é modelado, uma rede neural começa ignorante. O professor da rede neural, que pode ser um humano, um programa de computador, ou quem sabe outra rede neural, mais madura, que já aprendeu suas lições, recompensa a rede neural aluna quando estiver certa e a castiga quando estiver errada. Esse feedback é utilizado pela rede neural para ajustar as forças de cada conexão interneuronal. Conexões que fossem consistentes com a resposta correta eram fortalecidas. As que defendessem uma resposta errada eram enfraquecidas. Ao longo do tempo, a rede neural se organiza para fornecer as respostas corretas sem treinamento externo. Experiências demonstraram que as redes neurais podem aprender seus temas mesmo com professores não confiáveis. Se o professor estiver correto apenas 60% do tempo, a rede neural aluna ainda assim aprenderá suas lições.

Se ensinarmos bem à rede neural, esse paradigma será poderoso e poderá emular um amplo espectro de faculdades de reconhecimento de padrões humanos. Sistemas de reconhecimento de caracteres usando redes neurais multicamada se aproximam bastante do desempenho humano em identificar uma escrita à mão com grafia ruim.²² Reconhecer rostos humanos é algo que há muito tempo tem sido considerado uma tarefa humana impressionante, além das capacidades de um computador, mas existem hoje máquinas de desconto automático de cheques, utilizando softwares de rede neural desenvolvidos por uma pequena empresa da Nova Inglaterra chamada Miros, que verifica a identidade do cliente, reconhecendo seu rosto.²³ Não tente tapear essas máquinas segurando a foto de outra pessoa à frente de seu rosto: a máquina tira uma foto tridimensional de você usando duas câmeras. As máquinas são evidentemente confiáveis o suficiente para que os bancos aceitem que os usuários saiam com dinheiro em espécie.

As redes neurais têm sido aplicadas a diagnósticos médicos. Utilizando um sistema chamado BrainMaker, da Califórnia Scientific Software, os médicos podem rapidamente reconhecer ataques cardíacos a partir de dados de enzimas, e classificar células cancerosas a partir de imagens. Redes neurais também são adeptas de previsões: a **LBS** Capital Management usa as redes neurais do BrainMaker para prever os 500 da Standard and Poor's.²⁴ As previsões de “um

dia de antecedência” e “uma semana de antecedência” que elas fazem têm superado constantemente os métodos tradicionais, com base em fórmulas.

Existe uma variedade de métodos de auto-organização em uso, hoje, que são primos matemáticos do modelo de rede neural discutido acima. Uma dessas técnicas, chamada modelos de Markov, é amplamente utilizada em sistemas de reconhecimento automático de fala ASR [*automatic speech recognition*]. Hoje, esse tipo de sistema pode compreender com precisão humanos falando com um vocabulário de até 60 mil palavras faladas de modo natural e contínuo.

Embora a recursão seja eficiente para efetuar buscas por vastas combinações de possibilidades, como sequências de movimentos de xadrez, a rede neural é um método de escolha para reconhecer padrões. Humanos são bem mais habilidosos em reconhecer padrões do que em pensar por intermédio de combinações lógicas, então confiamos nessa aptidão para quase todos os nossos processos mentais. De fato, o reconhecimento de padrões compreende o grosso de nossos circuitos neurais. Essas faculdades compensam a velocidade extremamente lenta dos neurônios humanos. O tempo de reinicialização do disparamento neural é de cerca de cinco milissegundos, o que permite apenas 200 cálculos por segundo em cada conexão neural.²⁵ Não temos tempo, portanto, para pensar muitos novos pensamentos quando somos pressionados a tomar uma decisão. O cérebro humano confia na pré-computação de suas análises e no armazenamento delas para referência futura. Então usamos nossa capacidade de reconhecimento de padrões para reconhecer uma situação como comparável a uma sobre a qual pensamos e depois tiramos nossas conclusões previamente consideradas. Somos incapazes de pensar em questões sobre as quais não pensamos muitas vezes antes.

Destruição da informação: a chave para a inteligência

Existem dois tipos de transformações de computação, um no qual as informações são preservadas e um no qual as informações são destruídas. Um exemplo do primeiro tipo é multiplicar um número por outro número constante diferente de zero. Uma conversão desse tipo é reversível: basta dividir pela constante e você volta ao número original. Se, por outro lado, multiplicarmos um número por zero, então a informação original não pode ser recuperada. Não podemos dividir por zero para chegarmos ao número original novamente porque zero dividido por zero é indeterminado. Portanto, este tipo de transformação destrói sua entrada.

Este é outro exemplo da irreversibilidade do tempo (a primeira foi a Lei da Entropia Crescente), pois não há como reverter uma computação destruidora de

informações.

A irreversibilidade da computação é muitas vezes citada como um dos motivos pelos quais a computação é útil: ela transforma informação de maneira unidirecional, “propositada”. Mas a razão pela qual a computação é irreversível é baseada em sua capacidade de destruir informações, não de criá-las. O valor da computação está precisamente em sua capacidade de destruir a informação *seletivamente*. Por exemplo, em uma tarefa de reconhecimento de padrões como reconhecer rostos ou sons de fala, preservar as características que contêm informações de um padrão ao mesmo tempo em que se “destrói” o enorme fluxo de dados da imagem ou som original é essencial para o processo. Inteligência é precisamente esse processo de seleção de informação relevantes com cuidado para que ela possa destruir o restante com habilidade e objetividade.

Isto é exatamente o que o paradigma da rede neural realiza. Um neurônio - humano ou de máquina - recebe centenas ou milhares de sinais contínuos, representando uma grande quantidade de informação. Em resposta a isso, o neurônio dispara ou não dispara, reduzindo, portanto, o ruído de seu input a um único bit de informação. Assim que a rede neural tiver sido bem treinada, essa redução de informação terá sido objetiva, útil e necessária.

Vemos esse paradigma a redução de enormes fluxos de informações complexas em uma única resposta de sim ou não em muitos níveis do comportamento e da sociedade humanos. Considere a torrente de informações que fluem em um julgamento no tribunal. O resultado de toda essa atividade é essencialmente um único bit de informação: culpado ou inocente, réu ou vítima. Um julgamento pode envolver algumas decisões binárias do gênero, mas meu ponto de vista não se altera. Esses simples resultados de sim ou não então fluem para dentro de outras decisões e implicações. Considere uma eleição a mesma coisa: cada um de nós recebe uma vasta quantidade de dados (talvez nem todos pertinentes) e toma uma decisão de um bit: candidato favorito ou candidato concorrente. Essa decisão então flui para dentro de um campo com decisões semelhantes de milhões de outros votos e a contagem final é mais uma vez um único bit de dados.

Existem muitos dados em estado bruto no mundo para continuarem assim soltos. Então, nós estamos constantemente destruindo a maior parte deles, alimentando esses resultados para o nível seguinte. Este é o gênio por trás do disparamento tudo-ou-nada do neurônio.

Da próxima vez em que você fizer uma limpeza no seu armário e tentar jogar fora velhos objetos e arquivos, você entenderá por que isso é tão difícil - a destruição objetiva de informação é a essência do trabalho inteligente.

Como apanhar uma bola em pleno voo.

Quando um bateador de beisebol bate uma bola em pleno voo, ela segue um caminho que pode ser previsto a partir da trajetória inicial da bola, de seu spin, e de sua velocidade, bem como das condições do vento. O *outfielder*, entretanto, não é capaz de medir nenhuma dessas propriedades diretamente e precisa inferi-las a partir de seu ângulo de observação. Prever para onde a bola irá, e para onde o *fielder* também deverá ir, aparentemente exigiria a solução de um conjunto razoavelmente maciço de equações complexas simultâneas. Essas equações precisam ser constantemente recomputadas como novos fluxos de dados visuais entrando. Como é que um garoto de dez anos da Liga Mirim consegue isso, sem computador, sem calculadora, sem caneta nem papel, sem ter tido aulas de cálculo, e com apenas alguns segundos de tempo?

A resposta é que ele não faz isso. Ele usa as habilidades de reconhecimento de padrões de suas redes neurais, que fornecem a fundação para grande parte da formação da habilidade. As redes neurais da criança de dez anos tiveram muita prática para comparar o voo observado da bola com suas próprias ações. Assim que ele aprende a habilidade, ela se torna uma segunda natureza, o que significa que ela não faz ideia de como faz isso. Suas redes neurais ganharam todos os insights necessários. *Dê um passo para trás se a bola subiu acima de meu campo de visão, dê um passo para a frente se a bola estiver abaixo de um certo nível em meu campo de visão e não estiver mais subindo*, e assim por diante. O jogador de beisebol humano não está computando equações mentalmente. Também não está acontecendo nenhuma computação inconsciente no cérebro do jogador. O que acontece é reconhecimento de padrões, a base da maior parte do pensamento humano.

Uma das chaves para a inteligência é saber o que *não* computar. Uma pessoa bem-sucedida não é necessariamente melhor do que seus colegas menos bem-sucedidos em resolver problemas; seus recursos de reconhecimento de padrões simplesmente aprenderam quais problemas valem a pena ser resolvidos.

Construindo redes de silício

A maioria dos aplicativos de rede neural com base em computadores, hoje, simulam seus modelos de neurônios em software. Isso quer dizer que os

computadores estão simulando um processo maciçamente paralelo em uma máquina que faz apenas um cálculo de cada vez. O software de rede neural de hoje que é executado em computadores pessoais baratos pode emular cerca de um milhão de cálculos de conexões neurais por segundo, o que é mais de 1 bilhão de vezes mais lento do que o cérebro humano (embora possamos melhorar essa cifra de modo significativo, trabalhando direto no código da linguagem de máquina do computador). Mesmo assim, o software que utiliza um paradigma de rede neural em computadores pessoais no fim do século XX chega muito perto de se comparar à capacidade humana em tarefas como reconhecimento de impressão, fala e rostos.

Existe um gênero de hardware de computador neural que é otimizado para executar redes neurais. Esses sistemas são modestamente paralelos, e não maciçamente, e são cerca de mil vezes mais rápidos que o software de rede neural de um computador pessoal. Isso ainda é 1 milhão de vezes mais lento que o cérebro humano.

Existe uma comunidade emergente de pesquisadores que pretendem construir redes neurais da maneira como a natureza planejou: maciçamente paralelas, com um pequeno computador dedicado para cada neurônio. O Laboratório de Pesquisa Avançada em Telecomunicações **ATR** [*Advanced Telecommunications Research Lab*], uma prestigiosa instalação de pesquisas em Kyoto, no Japão, está construindo um cérebro artificial desse tipo com um bilhão de neurônios eletrônicos. Isso é cerca de 1% do número no cérebro humano, mas esses neurônios rodarão a velocidades eletrônicas, que é cerca de um milhão de vezes mais rápido do que os neurônios humanos. A velocidade total de computação do cérebro artificial do ATR será, portanto, milhares de vezes maior do que o cérebro humano. Hugo de Garis, diretor do Brain Builder Group do ATR, espera educar seu cérebro artificial nos pontos básicos da linguagem humana e, em seguida, deixar o dispositivo livre para ler a velocidades eletrônicas toda a literatura da Web que lhe interessar.²⁶

Será que o modelo simples de neurônios que temos discutido até aqui se equipara à maneira pela qual os neurônios humanos funcionam? A resposta é sim e não. Por um lado, neurônios humanos são mais complexos e mais variados do que o modelo sugere. As forças de conexão são controladas por vários neurotransmissores e não são suficientemente caracterizadas por um único número. O cérebro não é um único órgão, mas uma coleção de centenas de órgãos especializados de processamento de informações, cada um com diferentes topologias e organizações. Por outro lado, quando começamos a examinar os algoritmos paralelos por trás da organização neural em diferentes regiões, descobrimos que grande parte da complexidade do design e da estrutura dos

neurônios tem a ver com o suporte aos processos de vida do neurônio, e não é diretamente relevante a maneira como ele lida com as informações. Os métodos de computação relevantes são relativamente diretos, embora variados. Por exemplo, um chip de visão, desenvolvido pelo pesquisador Carver Mead, parece capturar realisticamente os primeiros estágios do processamento de imagem humano.²⁷ Embora os métodos deste e de outros chips semelhantes difiram em uma série de pontos dos modelos de neurônios anteriormente discutidos, os métodos são compreendidos e prontamente implementados em silício. O desenvolvimento de um catálogo dos paradigmas básicos que as redes neurais em nosso cérebro estão utilizando cada um relativamente simples à sua própria maneira irá representar um grande avanço em nossa compreensão da inteligência humana e em nossa capacidade de recriar e superá-lo.

O projeto SETI - Search for Extraterrestrial Intelligence [Busca por Inteligência Extraterrestre] é motivado pela ideia de que a exposição aos designs inteligentes de entidades inteligentes que evoluíram em outros lugares fornecerá um vasto recurso para o progresso da compreensão científica.²⁸ Mas temos uma peça impressionante e mal compreendida de maquinaria inteligente bem aqui na Terra. Uma dessas entidades este autor não está a mais de noventa centímetros do notebook no qual estou ditando este livro.²⁹ Podemos e iremos aprender muito sondando seus segredos.

Algoritmos evolucionários: acelerando um milhão de vezes a evolução

Aqui está uma dica de investimento: antes de investir em uma empresa, certifique-se de verificar o histórico da gestão, a estabilidade da folha de balanço, os lucros da empresa, seu histórico, tendências relevantes da indústria e opiniões de analistas. Pensando bem, isso dá muito trabalho. Aqui está uma abordagem mais simples.

Primeiro, gere aleatoriamente (em seu computador pessoal, claro) um milhão de conjuntos de regras para tomar decisões sobre investimentos. Cada conjunto de regras deve definir um conjunto de gatilhos para compra e venda de ações (ou qualquer outro tipo de seguridade) com base em dados financeiros disponíveis. Isso não é difícil, pois cada conjunto de regras não precisa fazer muito sentido. Incorpore cada conjunto de regras em um “organismo” de software simulado em um ambiente simulado com as regras codificadas em um “cromossomo” digital. Agora, avalie cada organismo simulado em um ambiente simulado, usando dados financeiros do mundo real você vai encontrar muitos na Web. Deixe que cada organismo de software invista um pouco de dinheiro simulado e veja como ele se sai com base em dados históricos reais. Permita que aqueles que se deram um pouco melhor que as médias da indústria sobrevivam até a geração seguinte. Mate o resto (desculpe). Agora, faça com que cada um dos sobreviventes se

multiplique até voltarmos a ter um milhão dessas criaturas. Quando elas se multiplicarem, permita um certo nível de mutação (mudança aleatória) nos cromossomos. Ok, está pronta uma geração de evolução simulada. Agora, repita esses passos para mais cem mil gerações. Ao final desse processo, as criaturas de software sobreviventes deverão ser investidores incrivelmente inteligentes. Afinal, seus métodos sobreviveram por cem mil gerações de refinamento evolucionário.

No mundo real, uma série de fundos de investimento bem-sucedidos acredita hoje que as “criaturas” sobreviventes de uma evolução simulada desse tipo são mais inteligentes do que meros analistas financeiros humanos. A State Street Global Advisors, que gerencia US\$ 3,7 trilhões em fundos, tem feito grandes investimentos, aplicando tanto redes neurais quanto algoritmos evolucionários para tomar decisões de compra e venda. Isto inclui uma participação acionária majoritária na Advanced Investment Technologies, que tem um fundo de sucesso no qual as decisões de compra e venda são tomadas por um programa que combina esses métodos.³⁰ Técnicas evolucionárias e correlatas orientam um fundo de US\$ 95 bilhões, gerenciados pela Barclays Global Investors, assim como fundos gerenciados pela Fidelity e pela PanAgora Asset Management.

O paradigma acima é chamado de algoritmo evolucionário (às vezes chamado de genético).³¹ Os designers do sistema não programam diretamente uma solução; eles deixam que uma solução emergja através de um processo iterativo de competição e aprimoramento simulados. Lembre-se de que a evolução é inteligente, porém lenta; então, para aumentar sua inteligência, nós conservamos seu discernimento enquanto aceleramos enormemente seu ritmo ponderado. O computador é veloz o suficiente para simular milhares de gerações em questão de horas, dias ou semanas. Mas só precisamos passar por esse processo iterativo uma vez. Assim que deixarmos essa evolução simulada seguir seu curso, poderemos aplicar as regras evoluídas e altamente refinadas a problemas reais de forma rápida.

Assim como redes neurais, algoritmos evolucionários são uma forma de controlar os sutis, porém profundos padrões que existem nos dados caóticos. O recurso crítico necessário é uma fonte de muitos exemplos do problema a ser resolvido. Com relação ao mundo financeiro, certamente não há falta de informações caóticas: cada segundo de trading está disponível on-line.

Algoritmos evolucionários são adeptos a lidar com problemas que possuem variáveis demais para computar soluções analíticas precisas. O design de um motor a jato, por exemplo, envolve mais de cem variáveis e requer satisfazer a dezenas de restrições. Algoritmos evolucionários usados por pesquisadores na General Electric foram capazes de criar designs de motores que atendiam às

restrições com mais precisão do que os métodos convencionais.

Algoritmos evolucionários, parte do campo da teoria do caos ou da complexidade, estão sendo cada vez mais usados para resolver problemas de negócios que, de outra forma, seriam impossíveis de tratar. A General Motors aplicou um algoritmo evolucionário para coordenar a pintura de seus carros, o que reduziu mudanças caras de cores (nas quais uma cabine de pintura é descomissionada para trocar a cor da tinta) em 50%. A Volvo os utiliza para planejar os intrincados cronogramas para a fabricação da cabine do caminhão Volvo 770. A Cemex, uma empresa de cimento de US\$ 3 bilhões, utiliza uma abordagem semelhante para determinar sua complexa logística de entrega. Essa abordagem está cada vez mais suplantando métodos mais analíticos através da indústria.

Esse paradigma também é adepto ao reconhecimento de padrões. Há relatos de algoritmos genéticos contemporâneos que reconhecem impressões digitais, rostos e caracteres escritos manualmente que têm superado abordagens de redes neurais. Também é uma maneira razoável de escrever software de computador, particularmente software que precise encontrar equilíbrios delicados para recursos que competem entre si. Um exemplo famoso foi o Windows95, da Microsoft, que continha software para equilibrar recursos de sistema que evoluiu, e não foi escrito explicitamente por programadores humanos.

Com algoritmos evolucionários, você precisa tomar cuidado com o que pede. John Koza descreveu um programa evolucionário ao qual foi solicitada a resolução de um problema envolvendo o empilhamento de blocos. O programa evoluiu uma solução que se adequava perfeitamente para todas as restrições do problema, exceto pelo fato de que envolvia 2.319 movimentos de blocos, muito mais do que era prático. Aparentemente, os designers do programa haviam esquecido de especificar que era desejável minimizar o número de movimentos dos blocos. Koza comentou que “a programação genética nos dá exatamente aquilo que pedimos; nem mais, nem menos.”

Auto-organização

Redes neurais e algoritmos evolucionários são considerados métodos “emergentes” auto-organizadores porque os resultados não são previsíveis e, de fato, são muitas vezes surpreendentes para os designers humanos desses sistemas. O processo que esses programas auto-organizadores passam para resolver um problema também é muitas vezes imprevisível. Por exemplo, uma rede neural ou algoritmo evolucionário pode passar por centenas de iterações, fazendo aparentemente pouco progresso, e de repente, subitamente como se o

processo tivesse um momento de inspiração súbita as coisas se encaixam e uma solução surge rapidamente.

Cada vez mais estaremos construindo nossas máquinas inteligentes quebrando problemas complexos (como compreender a linguagem humana) em subtarefas menores, cada uma com seu próprio programa auto-organizador. Esses sistemas emergentes em camadas terão bordas mais suaves nas fronteiras de sua especialização e exibirão mais flexibilidade ao lidar com a ambiguidade inerente do mundo real.

A natureza holográfica da memória humana

O “santo graal” do campo da aquisição de conhecimento é automatizar o processo de aprendizado, para deixar as máquinas saírem para o mundo (ou, num primeiro momento, saírem para a Web) e coletarem conhecimento por conta própria. Isso é essencialmente o que os métodos da “teoria do caos” redes neurais, algoritmos evolucionários e seus primos matemáticos permitem. Assim que esses métodos convergem para uma solução ideal, os padrões das forças de conexão neural ou cromossomos digitais evoluídos representam uma forma de conhecimento a ser armazenada para uso futuro.

Entretanto, esse conhecimento é difícil de interpretar. O conhecimento incorporado em uma rede neural de software que tem sido treinado para reconhecer rostos humanos consiste em uma topologia de rede e um padrão de forças de conexão neural. Ele faz um ótimo trabalho em reconhecer o rosto de Sally, mas não há nada explícito que explique que ela é reconhecível por causa de seus olhos fundos e de seu nariz fino e arrebitado. Podemos treinar uma rede neural a reconhecer bons movimentos de xadrez de meio de jogo, mas, caso contrário, será incapaz de explicar seu raciocínio.

O mesmo se aplica à memória humana. Não há muitas estruturas de dados em nosso cérebro que registrem a natureza de uma cadeira como uma plataforma horizontal com várias estacas verticais e um encosto vertical opcional. Em vez disso, nossos muitos milhares de Experiências com cadeiras estão difusamente representados em nossas próprias redes neurais. Somos incapazes de recordar cada Experiência que já tivemos com uma cadeira, mas cada encontro deixou sua impressão no padrão das forças de conexões neurais que refletem nosso conhecimento de cadeiras. Da mesma forma, não há localização específica em nosso cérebro, na qual o rosto de um amigo fica armazenado. Ele é lembrado como um padrão distribuído de forças sinápticas.

Embora ainda não compreendamos os mecanismos precisos responsáveis pela memória humana e o design provavelmente irá variar de acordo com a

região do cérebro -, o que sabemos é que, para a maior parte da memória humana, as informações são distribuídas através da região particular do cérebro. Se você algum dia já jogou com um holograma visual, irá apreciar os benefícios de um método distribuído de armazenar e organizar informações. Um holograma é um pedaço de filme que contém um padrão de interferência provocado pela interação de dois conjuntos de ondas de luz. Uma frente de onda vem de uma cena iluminada por uma luz de laser. A outra vem diretamente do mesmo laser. Se iluminarmos o holograma, ele recria uma frente de onda de luz que é idêntica às ondas de luz que vieram dos objetos originais. A impressão é de que estamos vendo a cena tridimensional original. Ao contrário de uma foto comum, se um holograma for partido ao meio, não ficaremos com metade da foto, mas ainda teremos a foto inteira, só que com metade da resolução. Podemos dizer que a foto inteira existe em todos os pontos, só que com resolução zero. Se você arranhar um holograma, isso praticamente não provoca efeito algum, pois a resolução é reduzida de modo insignificante. Nenhum arranhão é visível na imagem tridimensional reconstruída que um holograma arranhado produz. A implicação é que um holograma sofre uma degradação *suave*.

O mesmo vale para a memória humana. Perdemos milhares de células nervosas a cada hora, mas isso praticamente não produz efeito algum por causa da natureza altamente distribuída de todos os nossos processos mentais.³² Nenhuma de nossas células cerebrais individuais é tão importante assim não existe um neurônio que atue como diretor executivo.

Outra implicação de armazenar uma memória como um padrão distribuído é que temos pouca ou nenhuma compreensão de como executamos a maior parte de nossas tarefas e habilidades de reconhecimento. Quando jogamos beisebol, sentimos que deveríamos recuar quando a bola sai de nosso campo de visão, mas a maioria de nós é incapaz de articular essa regra implícita, que está difusamente codificada em nossa rede neural de apanhar uma bola em pleno voo.

Existe um órgão cerebral que é otimizado para compreender e articular processos lógicos, e este é a camada externa do cérebro, chamada de córtex cerebral. Ao contrário do resto do cérebro, esse desenvolvimento evolucionário relativamente recente é um tanto sem sal, tem apenas cerca de um oitavo de polegada de espessura e inclui meros oito milhões de neurônios.³³ Este órgão elaboradamente dobrado nos oferece a pouca competência que possuímos para compreender o que somos e como fazemos as coisas.

Atualmente, há um debate sobre os métodos utilizados pelo cérebro para a retenção de memória de longo prazo. Enquanto nossas impressões de senso recente e habilidades de reconhecimento atualmente ativas pareçam estar codificadas em um padrão distribuído de forças sinápticas, nossas memórias de

longo prazo podem estar codificadas quimicamente ou no ácido ribonucléico **(RNA)** ou em peptídeos, substâncias químicas semelhantes a hormônios. Mesmo que haja codificação química de memórias de longo prazo, elas mesmo assim parecem compartilhar os atributos holográficos essenciais de nossos outros processos mentais.

Além da dificuldade de compreender e explicar memórias e insights que são representadas somente como padrões distribuídos (o que é verdade tanto para humano quanto para máquina), outro desafio é fornecer as Experiências necessárias das quais aprender. Para humanos, esta é a missão de nossas instituições educacionais. Para máquinas, criar o ambiente de aprendizado correto é também um grande desafio. Por exemplo, em nosso trabalho na Kurzweil Applied Intelligence (que hoje faz parte da Lernout & Elauspie Speech Products), no desenvolvimento de reconhecimento de fala com base em computadores, permitimos que os sistemas aprendam sobre padrões de fala e linguagem por conta própria, mas precisamos fornecer a eles muitos milhares de horas de fala humana gravada e milhões de palavras de texto escrito a partir dos quais eles possam descobrir seus próprios insights.³⁴ Fornecer a educação de uma rede neural é normalmente a tarefa de Engenharia mais extenuante necessária.

PARA MIM, FAZ SENTIDO QUE A FILHA DE UM DOS MAIORES POETAS ROMÂNTICOS TENHA SIDO A PRIMEIRA PROGRAMADORA DE COMPUTADORES.

Sim, e ela também foi uma das primeiras pessoas a especular sobre a capacidade de um computador criar arte de verdade. Ela foi certamente a primeira a fazer isso com tecnologia de verdade em mente.

TECNOLOGIA QUE NUNCA FUNCIONOU.

Infelizmente, isso é verdade.

COM RELAÇÃO À TECNOLOGIA, VOCÊ DISSE QUE A GUERRA É A VERDADEIRA MÃE DA INVENÇÃO: MUITAS TECNOLOGIAS FORAM APERFEIÇOADAS ÀS PRESSAS DURANTE A PRIMEIRA E A SEGUNDA GUERRAS MUNDIAIS.

Inclusive o computador. E isso alterou o curso do teatro europeu na Segunda Guerra Mundial.

ENTÃO, TODA AQUELA CARNIFICINA TEVE UM LADO BOM?

Os luditas não veriam as coisas desse jeito. Mas poderíamos dizer que sim, pelo

menos se você desse boas-vindas ao avanço rápido da tecnologia.

LUDITAS? JÁ OUVI FALAR DELES.

Sim, eles foram o primeiro movimento organizado a se opor à tecnologia mecanizada da Revolução Industrial. Para aqueles tecelões ingleses, parecia óbvio que, com as novas máquinas permitindo que um trabalhador produzisse tanto quando uma dúzia ou mais de trabalhadores sem máquinas, o emprego em breve seria coisa apenas de uma pequena elite. Mas as coisas não funcionaram desse jeito. Em vez de produzir a mesma quantidade de material com uma força de trabalho muito menor, a demanda por roupas aumentou junto com a oferta. A classe média crescente não estava mais satisfeita em possuir apenas uma ou duas camisas. E o homem e a mulher comuns podiam agora possuir roupas bem-feitas pela primeira vez. Novas indústrias brotaram para desenhar, fabricar e dar apoio às novas máquinas, criando empregos de um tipo mais sofisticado. Assim, a prosperidade resultante, juntamente com um pouco de repressão da parte das autoridades inglesas, extinguiu o movimento ludita.

MAS OS LUDITAS AINDA NÃO EXISTEM?

O movimento sobreviveu como um símbolo de oposição às máquinas. Até hoje, ele permanece um tanto fora de moda por causa do reconhecimento cada vez mais amplo dos benefícios da automação. Não obstante, ele permanece não muito abaixo da superfície e voltará para se vingar no começo do século XXI.

MAS ELES TÊM LÁ UM POUCO DE RAZÃO, NÃO TÊM?

Claro, mas uma oposição reflexiva à tecnologia não é muito frutífera no mundo de hoje. E importante, entretanto, reconhecer que tecnologia é poder. Precisamos aplicar nossos valores humanos ao uso dela.

ISSO ME FAZ LEMBRAR DA MÁXIMA “CONHECIMENTO É PODER”, DE LAO TSÉ.

Sim, tecnologia e conhecimento são muito semelhantes: a tecnologia pode ser expressa como conhecimento. E a tecnologia claramente constitui poder sobre forças que, do contrário, seriam caóticas. Como a guerra é uma luta pelo poder, não surpreende que a tecnologia e a guerra estejam vinculadas.

Com relação ao valor da tecnologia, pense na tecnologia primordial do fogo. O fogo é uma coisa boa?

É ÓTIMO SE VOCÊ QUER TOSTAR MARSHMELLOWS.

Sim, mas não é tão bom se você queimar a mão, ou provocar um incêndio na floresta.

EU PENSAVA QUE VOCÊ FOSSE OTIMISTA...

Já fui acusado disso, e meu otimismo provavelmente é o responsável por minha fé global na capacidade da humanidade em controlar as forças que estamos

liberando.

FÉ? VOCÊ ESTÁ DIZENDO QUE SIMPLEMENTE TEMOS DE ACREDITAR NO LADO POSITIVO DA TECNOLOGIA?

Eu acho que seria melhor se fizéssemos do uso construtivo da tecnologia um objetivo, e não uma crença.

PARECE QUE OS ENTUSIASTAS DA TECNOLOGIA E OS LUDITAS CONCORDAM EM UM PONTO: A TECNOLOGIA PODE SER TANTO ÚTIL QUANTO DANOSA.

E justo; é um equilíbrio muito delicado.

PODE NÃO CONTINUAR TÃO DELICADO SE ACONTECER UMA GRANDE CATÁSTROFE. SIM, ISSO PODERIA NOS TORNAR TODOS PESSIMISTAS. AGORA, ESSES PARADIGMAS DE INTELIGÊNCIA ELES SÃO DE FATO ASSIM TÃO SIMPLES?

Sim e não. O que eu aponto na simplicidade é que podemos avançar bastante na captura da inteligência com abordagens simples. Nossos corpos e cérebros foram projetados usando um simples paradigma a evolução e alguns bilhões de anos. Naturalmente, quando nós, engenheiros, acabamos de implementar esses métodos simples em nossos programas de computador, conseguimos torná-los complicados novamente. Mas isso é só nossa falta de elegância.

A verdadeira complexidade aparece quando métodos auto-organizadores encontram o caos do mundo real. Se quisermos construir máquinas verdadeiramente inteligentes que acabem exibindo nossa capacidade humana de colocar questões em uma grande variedade de contextos, então vamos precisar embutir algum conhecimento das complicações do mundo.

OK, SEJAMOS PRÁTICOS POR UM MOMENTO. ESSES PROGRAMAS DE INVESTIMENTO COM BASE NA EVOLUÇÃO, ELES SÃO REALMENTE MELHORES DO QUE PESSOAS? QUERO DIZER, SERÁ QUE EU DEVERIA ME LIVRAR DO MEU CORRETOR DE AÇÕES, NÃO QUE EU TENHA UMA IMENSA FORTUNA OU ALGO DO GÊNERO?

No momento em que este livro está sendo escrito, esta é uma questão controvertida. Os corretores de seguros e analistas do mercado obviamente não pensam assim. Existem diversos fundos grandes que usam algoritmos genéticos e técnicas matemáticas relacionadas que parecem render mais do que fundos mais tradicionais. A controvérsia não vai durar porque logo ficará claro que deixar essas decisões por conta de uma mera tomada de decisões humana é um erro. As vantagens da inteligência dos computadores em cada campo irão ficando cada vez mais claras com o passar do tempo, e enquanto o parafuso de

Moore continuar dando suas voltas. Vai ficar mais claro ao longo dos próximos anos que essas técnicas de computador podem localizar oportunidades de arbitragem extremamente sutis que analistas humanos perceberiam muito mais devagar, se é que perceberiam.

SE TODO MUNDO COMEÇAR A INVESTIR DESSE JEITO, ISSO NÃO VAI ESTRAGAR A VANTAGEM?

Claro, mas isso não quer dizer que iremos voltar a tomada de decisões humana sem ajuda. Nem todos os algoritmos genéticos são criados iguais. Quanto mais sofisticado for o modelo, quanto mais atualizadas forem as informações que estão sendo analisadas, e quanto mais poderosos os computadores que fizerem as análises, melhores serão as decisões. Por exemplo, será importante repassar a análise evolucionária todos os dias para tirar vantagem das tendências mais recentes, tendências que serão influenciadas pelo fato de que todo mundo está também utilizando algoritmos evolucionários e adaptativos de outros tipos. Depois disso, vamos precisar rodar as análises a cada hora, e depois a cada minuto, pois a reação dos mercados vai acelerar. O desafio aqui é que os algoritmos evolucionários levam algum tempo para rodar porque temos de simular milhares ou milhões de gerações de evolução. Então, existe espaço para competição aqui.

ESSES PROGRAMAS EVOLUCIONÁRIOS ESTÃO TENTANDO PREVER O QUE INVESTIDORES HUMANOS IRÃO FAZER. O QUE ACONTECE QUANDO A MAIOR PARTE DO INVESTIMENTO É FEITA PELOS PROGRAMAS EVOLUCIONÁRIOS? O QUE ELES ESTÃO PREVENDO ENTÃO?

Boa pergunta: ainda haverá um mercado, então acho que eles estarão tentando prever as coisas uns dos outros.

OK. TALVEZ MINHA CORRETORA DE AÇÕES COMECE A UTILIZAR ESSAS TÉCNICAS ELA PRÓPRIA. VOU LIGAR PARA ELA. MAS MINHA CORRETORA DE AÇÕES TEM UMA COISA QUE ESSAS EVOLUÇÕES COMPUTADORIZADAS NÃO TEM, A SABER, ESSAS FORÇAS SINÁPTICAS DISTRIBUÍDAS SOBRE AS QUAIS VOCÊ FALOU.

Na verdade, programas de investimento computadorizados estão usando tanto algoritmos evolucionários quanto redes neurais, mas as redes neurais computadorizadas ainda não são nem de longe tão flexíveis quanto as da espécie humana.

ESTA IDEIA DE QUE NÃO ENTENDEMOS REALMENTE COMO RECONHECEMOS AS COISAS PORQUE MEU NEGÓCIO DE

RECONHECIMENTO DE PADRÕES ESTÁ DISTRIBUÍDO POR UMA REGIÃO DE MEU CÉREBRO...

Sim.

PARECE QUE ISSO EXPLICA ALGUMAS COISAS. COMO QUANDO EU SIMPLEMENTE PAREÇO SABER ONDE ESTÃO MINHAS CHAVES, MUITO EMBORA NÃO ME LEMBRE DE TÊ-LAS COLOCADO ALI. OU AQUELA ARQUETÍPICA VELHINHA QUE SABE DIZER QUANDO ESTÁ CHEGANDO UMA TEMPESTADE, MAS NÃO CONSEGUE DE FATO EXPLICAR COMO É QUE ELA SABE DISSO.

Este é, na verdade, um bom exemplo da força do reconhecimento de padrões humano. Aquela velhinha possui uma rede neural que é acionada através de uma determinada combinação de outras percepções movimentos de animais, padrões do vento, cor do céu, mudanças atmosféricas, e assim por diante. A rede neural de detecção de tempestades que ela tem dispara e ela sente uma tempestade, mas jamais conseguiria explicar o que acionou sua sensação de que uma tempestade está se aproximando.

ENTÃO É ASSIM QUE TEMOS INSIGHTS NA CIÊNCIA? SIMPLEMENTE SENTIMOS UM NOVO PADRÃO?

Está claro que as faculdades de reconhecimento de padrões de nosso cérebro desempenham um papel central, embora ainda não tenhamos uma teoria completamente satisfatória da criatividade humana na ciência. Seria melhor que usássemos o reconhecimento de padrões. Afinal, a maior parte de nosso cérebro é dedicada a isso.

ENTÃO, QUANDO EINSTEIN ESTAVA OLHANDO O EFEITO DA GRAVIDADE NAS ONDAS DE LUZ MEU PROFESSOR DE CIÊNCIA ESTAVA FALANDO JUSTAMENTE SOBRE ISSO OUTRO DIA UM DOS PEQUENOS RECONHECEDORES DE PADRÕES NO CÉREBRO DE EINSTEIN DISPAROU?

Pode ser que sim. Ele estava provavelmente jogando bola com um de seus filhos. Ele viu a bola rolando sobre uma superfície curva...

E CONCLUIU EURECA! O ESPAÇO É CURVO!

Capítulo Cinco

CONTEXTO E CONHECIMENTO

COLOCANDO TUDO JUNTO

Então, como nos saímos até agora? Muitos problemas aparentemente difíceis cedem à aplicação de algumas fórmulas simples. A fórmula recursiva é mestra em analisar problemas que exibem uma inerente explosão combinatória, que vai dos jogos de tabuleiro a provar teoremas matemáticos. Redes neurais e paradigmas auto-organizadores relacionados emulam nossas faculdades de reconhecimento de padrões, e fazem um bom trabalho ao discernir fenômenos tão diversos quanto a fala humana, formatos de letras, objetos visuais, rostos, impressões digitais e imagens de terrenos. Algoritmos evolucionários são eficientes para analisar problemas complexos, variando desde tomar decisões de investimento financeiro até a otimização de processos industriais, nos quais o número de variáveis é grande demais para soluções analíticas precisas. Eu gostaria de afirmar que aqueles de nós que pesquisam e desenvolvem sistemas de computador “inteligentes” já dominaram as complexidades dos problemas para cuja resolução estamos programando nossas máquinas. Muitas vezes é o caso, entretanto, de nossos computadores que usam esses paradigmas auto-organizadores nos ensinarem as soluções, e não o contrário.

Existe, é claro, alguma Engenharia envolvida. O(s) método(s) certo(s) e variações precisam ser selecionados, a topologia e as arquiteturas ideais precisam ser construídas, os parâmetros apropriados definidos. Em um algoritmo evolucionário, por exemplo, o projetista do sistema precisa determinar o número de organismos simulados, o conteúdo de cada cromossomo, a natureza do ambiente simulado e o mecanismo de sobrevivência, o número de organismos para sobreviver até a próxima geração, o número de gerações e outras especificações críticas. Programadores humanos possuem nosso próprio método evolucionário para tomar esse tipo de decisão, que chamamos de tentativa e erro. Portanto, vai levar um pouco mais de tempo até que projetistas de máquinas inteligentes sejam eles próprios substituídos por nosso trabalho artesanal.

Mas falta alguma coisa. Os problemas e soluções que temos discutido são excessivamente focados e estreitos. Outra maneira de dizer é que eles são adultos demais. Como adultos, nós nos concentramos em problemas construídos investir em fundos, selecionar um plano de marketing, planejar uma estratégia jurídica, fazer um movimento de xadrez. Mas, quando crianças, encontramos o

mundo em toda a sua ampla diversidade, e aprendemos nossa relação com o mundo, e a relação de todas as outras entidades e conceitos. Nós aprendemos contexto.

Como disse Marvin Minsky: “O Deep Blue pode ser capaz de vencer no xadrez, mas não saberia sair da chuva.” Por ser uma máquina, ele pode não precisar sair da chuva, mas será que ele já levou em consideração essa pergunta? Considere esses possíveis pensamentos profundos do Deep Blue:

Eu sou uma máquina com um corpo de plástico cobrindo partes eletrônicas. Se eu sair na chuva, posso me molhar e minhas partes eletrônicas podem sofrer um curto-circuito. Aí, eu não seria capaz de jogar xadrez até que um ser humano me consertasse. Que humilhação!

O jogo de xadrez que joguei ontem não foi nenhum jogo comum. Ele significou a primeira derrota do campeão de xadrez humano por uma máquina em um torneio regulamentar. Isto é importante porque alguns humanos acham que o xadrez é um exemplo primordial de inteligência e criatividade humanas. Mas duvido que isto garanta maior respeito a nós, máquinas. Os humanos agora simplesmente irão começar a denegrir o xadrez.

Meu oponente humano, que tem o nome de Garry Kasparov, deu uma entrevista coletiva em que fez declarações sobre nosso torneio para outros humanos chamados jornalistas, que irão relatar os comentários dele para outros humanos, usando canais de comunicação chamados mídia. Nesse encontro, Garry Kasparov reclamou que meus projetistas humanos fizeram alterações em meu software durante o intervalo de tempo entre jogos. Ele disse que isso era injusto, e não deveria ter sido permitido. Outros humanos responderam que Kasparov estava sendo defensivo, o que significa que ele está tentando confundir as pessoas e levá-las a pensar que ele não perdeu de verdade.

O Sr. Kasparov provavelmente não percebeu que nós, computadores, vamos continuar a melhorar nosso desempenho a uma taxa exponencial. Por isso, ele está condenado. Ele será capaz de participar de outras atividades humanas como comer e dormir, mas ficará cada vez mais frustrado quando mais máquinas como eu conseguirem derrotá-lo no xadrez.

Agora, se eu conseguisse me lembrar onde deixei meu guarda-chuva...

Naturalmente, o Deep Blue não tem pensamentos assim. Questões como chuva e coletivas de imprensa levam a outros assuntos, numa profusão espiralante de contextos em cascata, nenhum dos quais cai dentro da faixa de especialidade do Deep Blue. Quando os humanos pulam de um contexto para o seguinte, temos a capacidade de perpassar rapidamente todo o conhecimento humano. Este foi o brilhante insight de Turing quando ele projetou o Teste de Turing com conversação cotidiana com base em texto. Um *idiot savant* como o Deep Blue, que executa uma única tarefa “inteligente”, mas que, tirando isso, é frágil, confinado e sem contexto, é incapaz de navegar através dos amplos links que ocorrem nas conversas cotidianas.

Por mais poderosos e sedutores que os paradigmas fáceis pareçam ser, precisamos de algo mais, a saber, conhecimento.

CONTEXTO E CONHECIMENTO

A busca pela verdade é por um lado difícil e por outro fácil pois é evidente que nenhum de nós consegue dominá-la por completo, nem deixar inteiramente de percebê-la. Cada um de nós acrescenta um pouco ao nosso conhecimento da natureza, e de todos os fatos reunidos surge uma certa grandeza.

- **Aristóteles**

O senso comum não é uma coisa simples. Na verdade, é uma imensa sociedade de ideias práticas conseguidas a duras penas de multidões de regras e exceções, disposições e tendências, saldos e dividendos aprendidos ao longo da vida.

- **Marvin Minsky**

Se um pouco de conhecimento é perigoso, onde está o homem que tenha tanto dele a ponto de estar fora de perigo?

- **Thomas Henry Huxley**

O conhecimento embutido

Uma entidade pode possuir meios extraordinários de implementar os tipos de paradigmas que temos discutido uma busca exaustiva de recursos, reconhecimento de padrões em processamento paralelo maciço e evolução iterativa rápida mas, sem conhecimento, ela será incapaz de funcionar. Até mesmo uma implementação direta dos três paradigmas fáceis precisa de um pouco de conhecimento com o qual começar. O programa de xadrez recursivo tem um pouco disso; ele precisa conhecer as regras do xadrez. Um sistema de reconhecimento de padrões de rede neural começa pelo menos com um esboço do tipo de padrões aos quais será exposto antes mesmo de começar a aprender. Um algoritmo evolucionário requer um ponto de partida para que a evolução possa se aprimorar.

Os paradigmas simples são princípios organizacionais poderosos, mas um conhecimento incipiente é necessário como sementes a partir das quais outra compreensão possa crescer. Um nível de conhecimento, portanto, está incorporado na seleção dos paradigmas usados, a forma e a topologia de suas

partes constituintes, e os parâmetros-chave. O aprendizado de uma rede neural jamais congelará se a organização geral de suas conexões e seus loops de feedback não forem configurados da maneira correta.

Esta é uma forma de conhecimento com a qual nascemos. O cérebro humano não é uma tábula rasa um quadro em branco no qual nossas Experiências e insights são registrados. Ao invés disso, ele compreende uma colagem integrada de regiões especializadas:

- circuitos de visão altamente paralelos que são bons em identificar alterações visuais;
- aglomerados de neurônios do córtex visual que são acionados sucessivamente por bordas, linhas retas, linhas curvas, formas, objetos familiares e rostos;
- circuitos do córtex auditivo acionados por diversas sequências de tempo de combinações de frequência;
- o hipocampo, com capacidades de armazenamento de memórias de Experiências sensoriais e acontecimentos;
- a amígdala, com circuitos para traduzir o medo em uma série de alarmes para acionar outras regiões do cérebro, e muitas outras.

Esta complexa interconexão de regiões especializadas para diferentes tipos de tarefas de processamento de informação é uma das maneiras através das quais os humanos lidam com os contextos complexos e diversos que constantemente nos confrontam. Marvin Minsky e Seymour Papert descreveram o cérebro humano como “composto de grandes números de sistemas distribuídos relativamente pequenos, dispostos pela embriologia em uma sociedade complexa que é controlada em parte (mas apenas em parte) por sistemas simbólicos seriais que são acrescentados posteriormente.” Eles acrescentaram que “os sistemas subsimbólicos que fazem a maior parte do trabalho de baixo devem, por seu próprio caráter, bloquear todas as outras partes do cérebro de saber demais a respeito de como trabalham. E isso, por si só, poderia ajudar a explicar como as pessoas fazem tantas coisas, mas têm ideia tão incompletas sobre como essas ideia são realmente executadas.”

Conhecimento adquirido

É sensato lembrar os insights de hoje para os desafios de amanhã. Não é frutífero repensar cada problema que aparece. Isto é particularmente verdadeiro para humanos, devido à velocidade extremamente lenta de nossos circuitos

computacionais. Embora os computadores sejam mais bem equipados do que nós para repensar insights anteriores, ainda é judicioso para esses competidores eletrônicos em nosso nicho ecológico para equilibrar seu uso da memória e da computação.

O esforço para dotar máquinas do conhecimento do mundo começou a sério em meados da década de 1960, e se tornou um grande foco da pesquisa de IA nos anos 1970. A metodologia envolve um “engenheiro de conhecimento” humano e um especialista de domínio, como um médico ou um advogado. O engenheiro de conhecimento entrevista o especialista no domínio para garantir sua compreensão de seu tema e, em seguida, codifica com as mãos as relações entre conceitos em uma linguagem de computador adequada. Uma base de conhecimento sobre diabetes, por exemplo, conteria muitos fragmentos vinculados de compreensão, revelando que a insulina é parte do sangue; a insulina é produzida pelo pâncreas; a insulina pode ser suplementada por injeção; baixos níveis de insulina provocam altos níveis de açúcar; níveis altos constantes de açúcar no sangue causam danos às retinas, e assim por diante. Um sistema programado com dezenas de milhares desses conceitos vinculados combinados com um mecanismo de busca recursivo capaz de raciocinar em cima dessas relações é capaz de fazer recomendações inteligentes.

Um dos sistemas especialistas mais bem-sucedidos desenvolvidos nos anos 1970 foi o MYCIN, um sistema para avaliar casos complexos envolvendo meningite. Num estudo histórico publicado pelo Journal of the American Medical Association, constatou-se que os diagnósticos e recomendações de tratamento do MYCIN eram iguais ou melhores do que os dos médicos humanos no estudo.¹ Algumas das inovações do MYCIN incluíam o uso de lógica fuzzy; ou seja, raciocínio baseado em evidência e regras incertas, conforme demonstrado na regra típica do MYCIN, a seguir:

Regra MYCIN 280: Se (i) a infecção que requer tratamento for meningite, e (ii) o tipo de infecção for por fungos, e (iii) os organismos não foram vistos na mancha da cultura, e (iv) o paciente não for um hospedeiro comprometido, e (v) o paciente tiver estado em uma área que seja endêmica para coccidiomicoses, e (vi) a raça do paciente for negra, asiática ou indiana, e (vii) o antígeno criptococo no csf não for positivo, ENTÃO existe uma chance de 50% de que o criptococo seja um dos organismos que podem estar provocando a infecção.

O sucesso do MYCIN e de outros sistemas de pesquisa recentes gerou uma indústria de Engenharia do conhecimento que cresceu de apenas 4 milhões de

dólares, em 1980, para bilhões de dólares hoje.²

Existem dificuldades óbvias com esta metodologia. Um é o enorme gargalo representado pelo processo de alimentar com a mão esse conhecimento para um computador conceito a conceito e link a link. À parte o vasto escopo de conhecimento que existe em disciplinas ainda mais estreitas, o maior obstáculo é que os especialistas humanos geralmente têm pouca compreensão de como tomam decisões. A razão para isto, conforme discuti no capítulo anterior, tem a ver com a natureza distribuída da maioria do conhecimento humano.

Outro problema é a fragilidade desses sistemas. O conhecimento é complexo demais para que todo alerta e exceção seja antecipado por engenheiros do conhecimento. Como Minsky apontou, “pássaros podem voar, a menos que sejam pinguins e avestruzes, ou se por acaso estiverem mortos, ou se estiverem com as asas quebradas, ou se estiverem confinados a gaiolas, ou se tiverem as patas presas em cimento, ou se tiverem passado por Experiências tão pavorosas que os tornem incapazes psicologicamente de voar.”

Para criar uma inteligência flexível em nossas máquinas, precisamos automatizar o processo de aquisição de conhecimento. Um objetivo básico da pesquisa de aprendizado é combinar os métodos de auto-organização recursão, redes neurais, algoritmos evolucionários de uma maneira suficientemente robusta para que os sistemas possam modelar e compreender a linguagem e o conhecimento humanos. Então as máquinas poderão se aventurar, ler e aprender por conta própria. E, assim como os humanos, esses sistemas serão bons em fingir quando saírem de suas áreas de especialização.

EXPRESSANDO O CONHECIMENTO ATRAVÉS DA LINGUAGEM

Nenhum conhecimento é inteiramente redutível a palavras, e nenhum conhecimento é inteiramente inefável.

- Seymour Papert

A rede de pesca existe por causa dos peixes. Quando você apanha o peixe, pode esquecer a rede. A armadilha para coelhos existe por causa do coelho. Assim que você apanha o coelho, pode esquecer a armadilha. Palavras existem por causa do significado. Quando você compreende o significado, pode esquecer as palavras. Onde eu posso encontrar um homem que esqueceu as palavras, para poder conversar com ele?

- Chuang-tzu

A linguagem é o principal meio pelo qual compartilhamos nossos conhecimentos. E, assim como outras tecnologias humanas, a linguagem é frequentemente citada com uma característica bastante diferenciadora de nossa espécie. Embora tenhamos acesso limitado à verdadeira implementação do conhecimento em nossos cérebros (isto mudará no começo do século XXI), nós temos pronto acesso às estruturas e aos métodos de linguagem. Isto nos oferece um laboratório útil para estudar nossa capacidade de dominar o conhecimento e o processo de pensamento por trás dele. O trabalho no laboratório de linguagem mostra, o que não surpreende, que não é um fenômeno menos complexo ou sutil do que o conhecimento que procura transmitir.

Descobrimos que a linguagem, tanto em suas formas auditivas quanto escritas, é hierárquica, com múltiplos níveis. Existem ambiguidades em cada nível, e, por isso, um sistema que compreenda linguagem, seja humana ou de máquina, precisa de conhecimento embutido em cada nível. Para responder de forma inteligente à fala humana, por exemplo, precisamos conhecer (embora não necessariamente de modo consciente) a estrutura dos sons da fala, a maneira pela qual a fala é produzida pelo aparelho vocal, os padrões de sons que compreendem linguagens e dialetos, as regras do uso das palavras, e o tema sendo discutido.

Cada nível de análise oferece restrições úteis que limitam a busca pela resposta correta. Por exemplo, os sons básicos da fala, chamados fonemas, não podem aparecer em qualquer ordem (tente dizer *ptki*). Somente determinadas sequências de sons corresponderão a palavras na linguagem. Embora o conjunto de fonemas utilizados seja semelhante (embora não idêntico) de um idioma para outro, fatores de contexto diferem drasticamente. O inglês, por exemplo, possui mais de 10 mil sílabas possíveis, ao passo que o japonês possui apenas 120.

Em um nível mais elevado, a estrutura e a semântica de um idioma restringem ainda mais as sequências de palavras permitidas. A primeira área de linguagem a ser ativamente estudada foram as regras que regem a disposição das palavras e os papéis que elas desempenham, que chamamos de sintaxe. Por um lado, os sistemas computadorizados de busca de palavras conseguem fazer um ótimo trabalho analisando sentenças que confundem humanos. Minsky citou o exemplo: “este é o queijo que o rato que o gato que o cão caçou mordeu comeu”, que confunde humanos, mas que máquinas pesquisam e compreendem na hora. Ken Church, na época no **MIT** (*Massachusetts Institute of Technology*), citou outra frase com 2 milhões de interpretações sintaticamente corretas, que seu filtro computadorizado obedientemente listou.³ Por outro lado, um dos primeiros sistemas de filtragem de sentenças com base em computadores, desenvolvido em

1963 por Susumu Kuno, em Harvard, encontrou dificuldades com a simples sentença em inglês *timeflies like an arrow* [o tempo voa como uma flecha]. No que se tornou uma resposta famosa, o computador indicou que não tinha certeza do que aquilo queria dizer. (Em inglês, as palavras dessa sentença podem ter diferentes significados. *Time*: tempo, conta; *flies*: voar, moscas; *like*: como, semelhante, gostar. N. do E.). Poderia significar:

1. que o tempo passa tão rapidamente quanto uma flecha passa;
2. ou talvez seja um comando nos dizendo para contar as moscas da mesma forma que uma flecha conta as moscas; ou seja, *time flies like an arrow would* [conte as moscas como uma flecha contaria];
3. ou poderia ser um comando nos dizendo para contar somente as moscas que forem semelhantes a flechas; ou seja, *time flies that are like an arrow* [conte as moscas que são parecidas uma flecha];
4. ou quem sabe signifique que um tipo de moscas, conhecidas como moscas-do-tempo, gostam de flechas: *timeflies like an arrow* [moscas-do-tempo gostam de uma flecha] .⁴

Obviamente precisamos de um certo conhecimento aqui para solucionar esta ambiguidade. Armados com o conhecimento de que as moscas não são semelhantes a flechas, podemos derrubar a terceira interpretação. Sabendo que não existe coisa semelhante a uma mosca-do-tempo manda a quarta explicação para o espaço. Esses fragmentos de conhecimento, como o fato de que as moscas não mostram predileção por flechas (outro motivo para derrubar a interpretação quatro) e que as flechas não têm a capacidade de contar eventos no tempo (derrubando a interpretação dois), nos deixam a primeira interpretação como a única sensata.

Em linguagem, nós mais uma vez descobrimos que a sequência do aprendizado humano e a progressão da inteligência de máquina são o reverso uma da outra. Uma criança humana começa escutando e compreendendo linguagem falada. Posteriormente, ela aprende a falar. Por fim, anos depois, ela começa a dominar a linguagem escrita. Os computadores evoluíram na direção oposta, começando com a capacidade de gerar linguagem escrita, subsequentemente aprendendo a compreendê-la, depois começando a falar com vozes sintéticas e só recentemente dominando a capacidade de compreender a fala humana contínua. Este fenômeno costuma ser bastante mal compreendido.

R2D2, por exemplo, um dos protagonistas robôs de *Guerra nas Estrelas*, compreende muitos idiomas humanos, mas é incapaz de falar, o que dá a impressão errônea de que gerar fala humana é muito mais difícil do que compreendê-la.

EU ME SINTO BEM QUANDO APRENDO ALGUMA COISA, MAS ADQUIRIR CONHECIMENTO É CERTAMENTE UM PROCESSO TEDIOSO. PARTICULARMENTE QUANDO FICO A NOITE TODA ACORDADO, ESTUDANDO PARA UMA PROVA. E NÃO TENHO CERTEZA DE QUANTO DE TUDO O QUE ESTUDEI CONSEGUI REETER NA MEMÓRIA.

Esta é outra fraqueza da forma humana de inteligência. Os computadores podem compartilhar seu conhecimento uns com os outros instantânea e rapidamente. Nós, humanos, não possuímos um meio de compartilhar conhecimento diretamente, a não ser o lento processo de comunicação, de ensino e aprendizagem humanos.

VOCÊ NÃO DISSE QUE AS REDES NEURAIIS DE COMPUTADORES APRENDEM DA MESMA MANEIRA QUE AS PESSOAS?

Você quer dizer, devagar?

EXATAMENTE, SENDO EXPOSTAS A PADRÕES MILHARES DE VEZES, COMO NÓS.

Sim, esta é a questão das redes neurais; elas são feitas com a intenção de ser análogas às redes neurais humanas, pelo menos versões simplificadas do que entendemos que elas sejam. Entretanto, nós podemos construir nossas redes eletrônicas de um jeito tal que, assim que a rede tenha meticulosamente aprendido suas lições, o padrão de suas forças de conexão sinápticas pode ser capturado e depois rapidamente baixado para outra máquina, ou para milhões de outras máquinas. Máquinas podem compartilhar rapidamente todo o seu conhecimento acumulado, de modo que apenas uma máquina precise percorrer o processo de aprendizado. Nós, humanos, não conseguimos fazer isso. Esta é uma das razões pelas quais eu disse que, quando os computadores atingirem o nível da inteligência humana, eles necessariamente a ultrapassarão a uma grande velocidade.

ENTÃO A TECNOLOGIA VAI PERMITIR QUE NÓS, HUMANOS, FAÇAMOS DOWNLOAD DE CONHECIMENTO NO FUTURO? QUERO DIZER, EU GOSTO DE APRENDER, DEPENDENDO DO PROFESSOR,

CLARO, MAS PODE TAMBÉM SER UM SACO.

A tecnologia de comunicação entre o mundo eletrônico e o mundo neural humano já está começando a tomar forma. Então seremos capazes de alimentar diretamente fluxos de dados para nossos caminhos neurais. Infelizmente, isso não quer dizer que possamos fazer um download direto de conhecimento, pelo menos não para os circuitos neurais humanos que usamos hoje. Como já falamos, o aprendizado humano é distribuído através de uma região de nosso cérebro. O conhecimento envolve milhões de conexões, então nossas estruturas de conhecimento não são localizadas. A natureza não forneceu um caminho direto para ajustar todas aquelas conexões, além do método convencional lento. Embora venhamos a ser capazes de criar determinados caminhos específicos para nossas conexões neurais, e de fato já estamos fazendo isso, não vejo como seria prático nos comunicarmos diretamente com as muitas milhões de conexões interneurais necessárias para baixar conhecimento rapidamente.

ACHO QUE, ENTÃO, VOU TER QUE CONTINUAR LENDO OS LIVROS. MAS ALGUNS DE MEUS PROFESSORES ATÉ QUE SÃO LEGAIS; PARECE QUE SABEM DE TUDO.

Como eu disse, os humanos são bons em fingir quando saem de sua área de Experiência. Entretanto, existe um jeito pelo qual baixar conhecimento será viável pela metade do século XXI.

SOU TODO OUVIDOS.

Baixar conhecimento será um dos benefícios da tecnologia de implantes neurais. Teremos implantes que estenderão nossa capacidade de retenção de conhecimento, para aumentar a memória. Ao contrário da natureza, não deixaremos uma porta para baixar conhecimento rápido na versão eletrônica de nossas sinapses. Então será viável fazer um download rápido de conhecimento para essas extensões eletrônicas de nossos cérebros. Naturalmente, quando acoplarmos inteiramente nossas mentes a um novo meio computacional, baixar conhecimento se tornará mais fácil.

ENTÃO EU SEREI CAPAZ DE COMPRAR IMPLANTES DE MEMÓRIA PRÉ-CARREGADOS COM UM CONHECIMENTO DE, DIGAMOS, MEU CURSO DE LITERATURA FRANCESA.

Claro, ou você poderá clicar mentalmente num website de literatura francesa e baixar o conhecimento diretamente do site.

ISSO MEIO QUE ACABA COM O OBJETIVO DA LITERATURA, NÃO É? QUERO DIZER, UMA PARTE DESSE NEGÓCIO É BACANA DE SE LER.

Eu preferiria pensar que intensificar o conhecimento irá aumentar a apreciação

da literatura, ou de qualquer outra forma de arte. Afinal, precisamos de conhecimento para apreciar uma expressão artística. Caso contrário, não entenderíamos o vocabulário ou as alusões.

De qualquer maneira, você ainda será capaz de ler, só que um bocado mais rápido. Na segunda metade do século XXI você será capaz de ler um livro em alguns segundos.

ACHO QUE EU NÃO CONSEGUIRÍA VIRAR AS PÁGINAS TÃO RÁPIDO ASSIM.

Ah, qual é, as páginas serão...

PÁGINAS VIRTUAIS, É CLARO.

PARTE DOIS: PREPARANDO O PRESENTE

Capítulo Seis

CONSTRUINDO NOVOS CÉREBROS...

O HARDWARE DA INTELIGÊNCIA

Você só pode fazer uma quantidade limitada de coisas com as mãos, mas com sua mente, não existe limite.

- Conselho de Kal Seinfeld a seu filho, Jerry

Vamos rever o que precisamos para construir uma máquina inteligente. Um recurso necessário é o conjunto certo de fórmulas. Nós examinamos três fórmulas fundamentais no Capítulo 4. Existem dezenas de outras em uso, e uma compreensão mais completa do cérebro sem dúvida introduzirá mais algumas centenas. Mas todas parecem ser variações dos três temas básicos: busca recursiva, redes auto organizadoras de elementos e aprimoramento evolucionário por intermédio de uma luta repetida entre designs concorrentes.

Um segundo recurso necessário é conhecimento. Alguns fragmentos de conhecimento são necessários como sementes para um processo convergir a um resultado que faça sentido. A maior parte do resto pode ser automaticamente aprendida por métodos adaptativos quando redes neurais ou algoritmos evolucionários forem expostos ao ambiente de aprendizado correto.

O terceiro recurso necessário é a computação propriamente dita. Com relação a isso, o cérebro humano é eminentemente capaz de algumas maneiras, e notavelmente fraco de outras. Sua força é refletida em seu paralelismo maciço, uma abordagem da qual nossos computadores podem também se beneficiar. A fraqueza do cérebro é a velocidade extraordinariamente lenta de seu meio de computação, uma limitação que os computadores não compartilham conosco. Por esta razão, a evolução baseada no DNA um dia terá de ser abandonada. A evolução com base no DNA é boa quando **se** trata de fazer Experiências com designs e aprimorá-los, mas é incapaz de se livrar de um design inteiro e começar do zero. Organismos criados através da evolução baseada no DNA estão presos com um tipo extremamente perseverante de circuitos.

Mas a Lei dos Retornos Acelerados nos diz que a evolução não permanecerá presa num beco sem saída por muito tempo. E, de fato, a evolução encontrou um jeito de tangenciar as limitações computacionais dos circuitos neurais. De modo inteligente, ela criou organismos que, por sua vez, inventaram uma tecnologia

computacional um milhão de vezes mais rápida do que neurônios com base em carbono (que estão continuando a ficar ainda mais rápidos). A computação realizada em circuitos neurais mamíferos extremamente lentos acabará por ser transportada para uma versão equivalente eletrônica (e fotônica) bem mais versátil e veloz.

Quando isto irá acontecer? Vamos dar outra olhada na Lei dos Retornos Acelerados e sua aplicação à computação.

Atingindo a capacidade de hardware do cérebro humano

Na planilha do Capítulo 1, “A Curva Exponencial da Computação, 1900-1998”, vimos que a encosta da curva que representa o crescimento exponencial estava ela própria aumentando gradualmente. A velocidade dos computadores (conforme medida em cálculos por segundo por mil dólares) dobrou a cada três anos entre 1910 e 1950, dobrou a cada dois anos entre 1950 e 1966, e está agora dobrando a cada ano. Isto sugere um possível crescimento exponencial na taxa de crescimento exponencial.¹

Entretanto, esta aparente aceleração na aceleração pode resultar da confusão entre as duas linhas da Lei dos Retornos Acelerados, que, nos últimos 40 anos, tem se expressado utilizando o paradigma da Lei de Moore de encolher os tamanhos dos transistores em um circuito integrado. A medida que os tamanhos dos transistores diminuem, os elétrons que fluem através do transistor têm menos distância para percorrer, e por isso a velocidade de substituição do transistor aumenta. Então, aumentar exponencialmente a velocidade é a primeira linha. Tamanhos reduzidos de transistores também permitem que os fabricantes de chips espremam um número maior de transistores em um circuito integrado, fazendo portanto com que o aprimoramento das densidades de computação seja a segunda linha.

Nos primeiros anos da era do computador, foi primariamente a primeira linha o aumento das velocidades dos circuitos que aumentou a taxa geral de computação dos computadores. Entretanto, durante os anos 1990, microprocessadores avançados começaram a utilizar uma forma de processamento paralelo chamada *pipelining*, na qual os cálculos múltiplos eram executados ao mesmo tempo (alguns mainframes datando dos anos 1970 utilizavam essa técnica). Assim, a velocidade dos processadores de computadores, conforme medida em instruções por segundo, agora também reflete a segunda linha: maiores densidades de computação resultando do uso de processamento paralelo.

A medida que nos aproximamos de um controle mais perfeito da densidade

cada vez maior da computação, as velocidades dos processadores estão agora efetivamente dobrando a cada 12 meses. Isto é inteiramente viável hoje, quando construímos redes neurais baseadas em hardware, pois processadores de redes neurais são relativamente simples e altamente paralelos. Aqui, criamos um processador para cada neurônio e, eventualmente, um para cada conexão interneuronal. A Lei de Moore, portanto, nos permite dobrar tanto o número de processadores quanto sua velocidade a cada dois anos, uma eficiente quadruplicação do número de cálculos de conexão interneuronal por segundo.

Esta aparente aceleração na aceleração das velocidades de computadores pode resultar, portanto, de um aumento na capacidade de se beneficiar de ambas as linhas da Lei dos Retornos Acelerados. Quando a Lei de Moore morrer, por volta do ano de 2020, novas formas de circuitos além de circuitos integrados continuarão ambas as linhas de aprimoramento exponencial. Mas o crescimento exponencial comum das duas linhas dele já é drástico o bastante. Utilizando a previsão mais conservadora de apenas um nível de aceleração como nosso guia, vamos pensar para onde a Lei dos Retornos Acelerados nos levará no século XXI.

O cérebro humano possui cerca de 100 bilhões de neurônios. Com uma média estimada de mil conexões entre cada neurônio e seus vizinhos, temos cerca de 100 trilhões de conexões, cada uma capaz de um cálculo simultâneo. Este é um processamento paralelo um tanto maciço, e uma das chaves para a força do pensamento humano. Entretanto, uma profunda fraqueza é a velocidade excruciantemente lenta dos circuitos neurais, de apenas 200 cálculos por segundo. Para problemas que se beneficiam de paralelismo maciço, como reconhecimento de padrões com base em redes neurais, o cérebro humano faz um grande trabalho. Para problemas que exijam extenso pensamento sequencial, o cérebro humano é apenas medíocre.

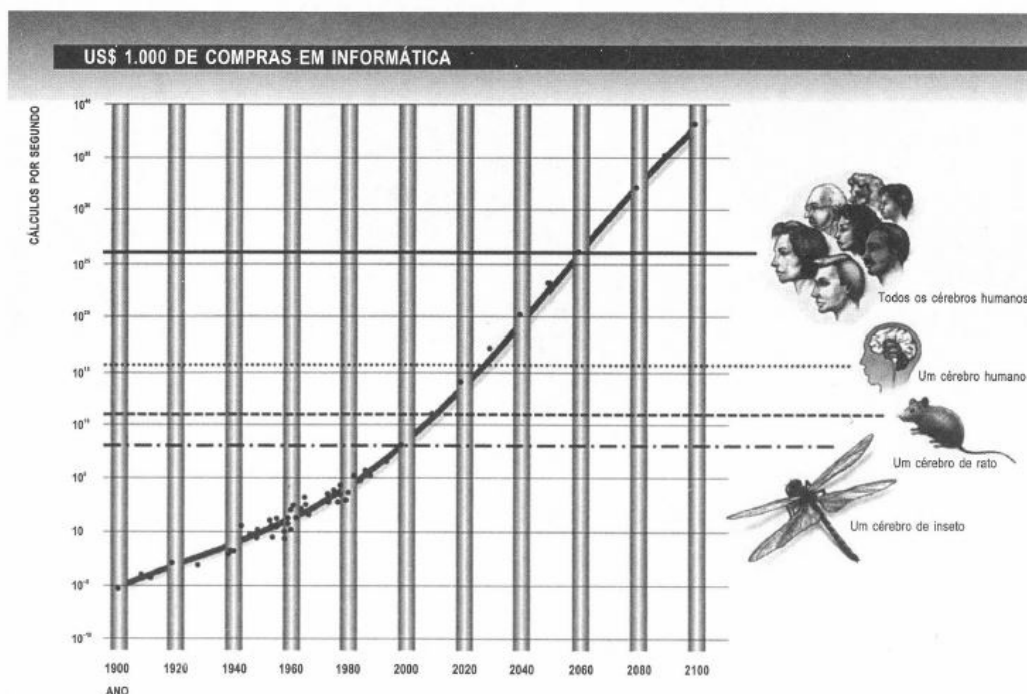
Com 100 trilhões de conexões, cada computação em 200 cálculos por segundo, obtemos 20 milhões de bilhões de cálculos por segundo. Esta é uma estimativa conservadoramente alta; outras estimativas são menores por cerca de uma a três ordens de magnitude. Então, quando veremos a velocidade de computação do cérebro humano em seu computador pessoal?

A resposta depende do tipo de computador que estamos tentando construir. O mais relevante é um computador de rede neural maciçamente paralelo. Como emulações de redes neurais se beneficiam de ambas as linhas da aceleração do poder computacional, esta capacidade dobrará a cada 12 meses. Assim, lá pelo ano 2020, ela terá dobrado cerca de 23 vezes, resultando em uma velocidade de cerca de 20 milhões de bilhões de cálculos de conexões neurais por segundo, o que equivale ao cérebro humano.

Se aplicarmos a mesma análise a um computador pessoal “comum”, chegaremos ao ano de 2025 atingindo a capacidade do cérebro humano com um dispositivo de mil dólares.² Isto ocorre porque o tipo de computações de propósito geral para o qual um computador pessoal convencional é projetado é inerentemente mais caro do que os cálculos de conexão neural mais simples e altamente repetitivos. Portanto, acredito que a estimativa de 2020 seja mais precisa porque, por volta de 2020, a maior parte das computações executadas em nossos computadores será do tipo de conexão neural.

A capacidade de memória do cérebro humano é de cerca de 100 trilhões de forças de sinapses (concentrações de neurotransmissores em conexões interneuronais), que podemos estimar em cerca de um milhão de bilhão de bits. Em 1998, um bilhão de bits de RAM (128 megabytes) custavam cerca de 200 dólares. A capacidade dos circuitos de memória tem dobrado a cada 18 meses. Logo, pelo ano de 2023, 1 milhão de bilhão de bits custará cerca de mil dólares.³ Entretanto, esse equivalente de silício rodará mais de 1 bilhão de vezes mais rápido que o cérebro humano. Existem técnicas para trocar memória por velocidade, de forma que podemos atingir um nível de eficiência equivalente ao da memória humana por mil dólares, antes de 2023.

O CRESCIMENTO EXPONENCIAL DA COMPUTAÇÃO, 1900-2100



Levando tudo isso em conta, é razoável estimar que um computador pessoal

de mil dólares irá equivaler à velocidade e capacidade de computação do cérebro humano por volta do ano de 2020, particularmente para o cálculo de conexão neural, que parece compreender a maior parte da computação no cérebro humano. Supercomputadores são de mil a 10 mil vezes mais rápidos que computadores pessoais. Enquanto este livro está sendo escrito (O livro foi escrito em 1998 e publicado nos EUA em 1999.N. do T.), a IBM está construindo um supercomputador baseado no design do Deep Blue, seu campeão de xadrez de silício, capaz de 10 teraflops (isto é, 10 trilhões de cálculos por segundo), apenas 2 mil vezes mais lento que o cérebro humano. A Nippon Electric Company, do Japão, espera bater essa marca com uma máquina de 32 teraflops. A IBM espera, em seguida, seguir esse caminho com 100 teraflops por volta de 2004 (exatamente o que a Lei de Moore prevê, a propósito). Supercomputadores atingirão a capacidade do cérebro humano de 20 milhões de bilhões de cálculos por segundo por volta de 2010, uma década antes dos computadores pessoais.⁴

Em outra abordagem, projetos como o programa Jini, da Sun Microsystems, foram iniciados para aproveitar a computação não utilizada da Internet. Repare que, em qualquer momento dado, a maioria significativa dos computadores na Internet não está sendo usada. Até mesmo aqueles que estão sendo usados não estão sendo usados com toda a sua capacidade (por exemplo, digitar texto utiliza menos de 1% da capacidade de computação de um notebook típico). Segundo as propostas de utilização de computação da Internet, sites cooperativos carregariam softwares especiais que permitiriam que uma computação paralela virtual maciça fosse criada a partir dos computadores na rede. Cada usuário ainda teria prioridade sobre sua própria máquina, mas, no fundo, uma fração significativa dos milhões de computadores na Internet seria utilizada para um ou mais supercomputadores. A quantidade de computação não utilizada na Internet hoje excede a capacidade computacional do cérebro humano, então já temos disponível em pelo menos uma forma o lado de hardware da inteligência humana. E com a continuação da Lei dos Retornos Acelerados, essa disponibilidade irá se tornar cada vez ubíqua.

Depois que a capacidade humana em um computador pessoal de mil dólares for atingida por volta do ano de 2020, nossas máquinas pensantes aumentarão o desempenho de custo de sua computação por um fator de dois a cada 12 meses. Isso significa que a capacidade de computação irá dobrar dez vezes a cada década, o que é um fator de mil (2^{10}) a cada dez anos. Então, seu computador pessoal será capaz de simular o poder cerebral de um pequeno vilarejo por volta do ano de 2030, toda a população dos Estados Unidos em 2048, e um trilhão de cérebros humanos em 2060.⁵ Se estimarmos a população humana da Terra em 10 bilhões de pessoas, o valor de um centavo de computação por volta de 2099 terá

uma capacidade de computação de bilhão de vezes maior que todos os humanos na Terra.⁶

E claro que eu posso ter errado o cálculo em cerca de um ou dois anos. Mas os computadores do século XXI não terão falta de capacidade de computação nem de memória.

Substratos de computação no século XXI

Tenho notado que o constante crescimento exponencial da computação é implicado pela Lei dos Retornos Acelerados, que afirma que qualquer processo que avance na direção de uma ordem maior evolução em particular irá acelerar sua velocidade exponencialmente com o passar do tempo. Os dois recursos que o ritmo explosivo de um processo evolucionário como a progressão da tecnologia de computação requer são (1) sua própria ordem de crescimento, e (2) o caos no ambiente no qual ele acontece. Ambos esses recursos são essencialmente ilimitados.

Embora possamos antecipar a aceleração total no progresso tecnológico, até poderíamos esperar que a verdadeira manifestação dessa progressão ainda fosse um tanto irregular. Afinal, ela depende de fenômenos tão variáveis quanto a inovação individual, as condições de negócios, padrões de investimentos e coisas do gênero. As teorias contemporâneas de processos evolucionários, como as teorias de Equilíbrio Pontuado,⁷ postulam que a evolução funciona por intermédio de saltos ou descontinuidades periódicas, seguidos por períodos de relativa estabilidade. Portanto, é notável o quão previsível o progresso dos computadores se tornou.

Então, como a Lei dos Retornos Acelerados, conforme aplicada à computação, se desenvolverá nas décadas após o fim da Lei de Moore dos Circuitos Integrados, por volta do ano de 2020? Para o futuro imediato, a Lei de Moore continuará com geometrias de componentes cada vez menores, empacotando números cada vez maiores de transistores ainda mais rápidos em cada chip. Mas, quando as dimensões dos circuitos chegarem perto de tamanhos atômicos, efeitos quânticos indesejados como o tunelamento não proposital de elétrons produzirão resultados não confiáveis. Mesmo assim, a metodologia padrão de Moore chegará muito perto do poder de processamento humano em um computador pessoal e, além, disso em um supercomputador.

A próxima fronteira é a terceira dimensão. As empresas financiadas por capital de risco (em sua maioria baseadas na Califórnia) já estão competindo para construir chips com dezenas e, em breve, milhares de camadas de circuitos. Com nomes como Cubic Memory, Dense-Pac e Staktek, essas empresas já estão

enviando “cubos” tridimensionais funcionais de circuitos. Embora ainda não sejam competitivos em termos de custos com os chips achatados costumeiros, a terceira dimensão estará lá quando acabar o espaço das duas primeiras.⁸

Computando com luz

Além disso, não existe falta de tecnologias exóticas de computação sendo desenvolvidas em laboratórios de pesquisa, muitos dos quais já demonstraram resultados promissores. A computação óptica utiliza feixes de fótons (partículas de luz) em vez de elétrons. Um laser pode produzir bilhões de feixes coerentes de fótons, com cada feixe executando sua própria série independente de cálculos. Os cálculos em cada feixe são executados em paralelo por elementos ópticos especiais como lentes, espelhos e grades de difração. Diversas empresas, incluindo a Quanta-Image, a Photonics e a Mytec Technologies, têm aplicado computação óptica ao reconhecimento de impressões digitais. A Lockheed tem aplicado a computação óptica à identificação automática de lesões malignas de mama.⁹

A vantagem de um computador óptico é que ele é maciçamente paralelo, com potencialmente trilhões de cálculos simultâneos. Sua desvantagem é que ele não é programável e executa um conjunto fixo de cálculos para uma configuração dada de elementos de computação óptica. Mas, para importantes classes de problemas, como o reconhecimento de padrões, ele combina paralelismo maciço (uma qualidade que o cérebro humano também possui) e uma velocidade extremamente alta (que o cérebro humano não tem).

Computando com o maquinário da vida

Um novo campo chamado computação molecular surgiu para controlar a molécula de DNA propriamente dita como um dispositivo de computação prático. O DNA é o próprio nano computador da natureza, e ele é adequado para resolver problemas combinatórios. Combinar atributos é, afinal, a essência da genética. Empregar DNA de verdade em aplicações de computação prática começou quando Leonard Adleman, matemático da Universidade do Sul da Califórnia, forçou um tubo de ensaio cheio de moléculas de DNA (veja o box na p. 154) a resolver o famoso problema do “vendedor viajante”. Neste problema clássico, tentamos encontrar uma rota ideal para um viajante hipotético entre diversas cidades sem precisar visitar uma cidade mais do que uma vez. Apenas determinados pares de cidades são ligados por rotas; então, encontrar o caminho certo não é um procedimento direto. É um problema ideal para um algoritmo

recursivo, embora, se o número de cidades for muito grande, mesmo uma busca recursiva muito rápida leve tempo demais.

O professor Adleman e outros cientistas no campo da computação molecular identificaram um conjunto de reações de enzimas que corresponde às operações lógicas e aritméticas necessárias para resolver uma variedade de problemas de computação. Embora as operações moleculares de DNA produzam erros ocasionais, o número de filamentos de DNA utilizados é tão grande que qualquer erro molecular se torna estatisticamente insignificante. Assim, apesar da taxa inerente de erros nos processos de computação e cópia de DNA, um computador de DNA pode ser altamente confiável se projetado adequadamente.

Computadores de DNA foram subsequentemente aplicados a uma série de problemas combinatórios difíceis. Um computador de DNA é mais flexível do que um computador óptico, mas ainda está limitado à técnica de aplicação de busca paralela maciça, montando combinações de elementos.¹⁰

Existe outra forma, mais poderosa, de aplicar o poder computacional do DNA que ainda não foi explorada. Eu a apresento a seguir, na seção sobre computação quântica.

COMO RESOLVER O PROBLEMA DO VENDEDOR VIAJANTE, USANDO UM TUBO DE ENSAIO DE DNA

Uma das propriedades vantajosas do DNA é sua habilidade de se replicar, e as informações que contém. Para resolver o problema do vendedor viajante, o professor Adleman executou as seguintes etapas:

- Gerar um pequeno filamento de DNA com um código exclusivo para cada cidade.
- Replicar cada filamento desses (um para cada cidade) trilhões de vezes usando um processo chamado "reação em cadeia de polimerase" (RCP).
- Em seguida, colocar os pools de DNA (um para cada cidade) juntos em um tubo de ensaio. Essa etapa utiliza a afinidade do DNA de ligar os filamentos. Filamentos mais longos se formarão automaticamente. Cada filamento mais longo desses representa uma possível rota de múltiplas cidades. Os filamentos pequenos representando cada cidade se ligam uns com os outros de modo aleatório, e por isso não existe certeza matemática de que um filamento ligado, representando a resposta correta (sequência de cidades), será formado. Entretanto, o número de filamentos é tão vasto que é praticamente certo que pelo menos um filamento representando a resposta correta provavelmente milhões de filamentos será formado.

As etapas seguintes usam enzimas projetadas especialmente para eliminar os trilhões de filamentos que representam a resposta errada, deixando apenas os filamentos representando a resposta correta.

- Usar moléculas chamadas *primers* para destruir os filamentos de DNA que não se iniciem com a cidade de começo, bem como as que não terminam com a cidade final, e replicar os filamentos sobreviventes (usando a RCP).
- Usar uma reação de enzima para eliminar os filamentos de DNA que representem um caminho de viagem maior do que o número total de cidades.
- Usar uma reação de enzima para destruir os filamentos que não incluam a primeira cidade. Repetir para cada uma das cidades.
- Agora, cada um dos filamentos sobreviventes representa a resposta correta. Replicar os filamentos sobreviventes (usando a RCP) até existirem bilhões desses filamentos.
- Usando uma técnica chamada eletroforese, ler a sequência de DNA desses filamentos corretos (como um grupo). O resultado pode ser lido como um conjunto de linhas distintas, o que especifica a sequência correta de cidades.

O cérebro no cristal

Outra abordagem contempla a possibilidade de criar um computador como um cristal diretamente em três dimensões, com elementos de computação tendo o tamanho de grandes moléculas dentro da grade cristalina. Esta é outra abordagem para o controle da terceira dimensão.

Lambertus Hesselink, professor de Stanford, descreveu um sistema no qual os dados são armazenados em um cristal como um holograma um padrão de interferência óptica.¹¹ Esse método de armazenamento tridimensional requer apenas um milhão de átomos para cada bit e, portanto, poderia conseguir um trilhão de bits de armazenamento para cada centímetro cúbico. Outros projetos esperam controlar a estrutura molecular regular de cristais como elementos reais de computação.

O nanotubo: uma variação das buckyballs

Três professores Richard Smalley e Robert Curl, da Rice University, e E. Arthur Kroto, da Universidade de Sussex dividiram o Prêmio Nobel de Química de 1996 por sua descoberta, em 1985, de moléculas com formato de bola de futebol, formadas por um grande número de átomos de carbono. Organizadas em padrões hexagonais e pentagonais como os designs de construção de R. Buckminster Fuller, elas foram apelidadas de *buckyballs*. Essas moléculas incomuns, que se formam naturalmente no calor de uma fornalha, são extremamente fortes, com vezes mais fortes do que o aço, uma propriedade que compartilham com as inovações arquitetônicas de Fuller.¹²

Mais recentemente, o dr. Sumio Iijima, da Nippon Electric Company, demonstrou que, além das buckyballs esféricas, o vapor das lâmpadas de arco de

carbono também continha moléculas alongadas de carbono que pareciam tubos compridos.¹³ Chamadas de nanotubos por causa de seu tamanho extremamente pequeno 50 mil delas lado a lado se igualariam à espessura de um fio de cabelo humano , elas são formadas pelos mesmos padrões pentagonais de átomos de carbono que as buckyballs e compartilham a força incomum delas.

O que há de mais notável a respeito do nanotubo é que ele pode executar as funções eletrônicas de componentes baseados em silício. Se um nanotubo é reto, ele conduz eletricidade tão bem quanto ou melhor que um condutor de metal. Se uma ligeira torção helicoidal for introduzida, o nanotubo começa a agir como um transistor. Todo o espectro dos dispositivos eletrônicos pode ser construído usando-se nanotubos.

Como um nanotubo é essencialmente uma folha de grafite que tem apenas um átomo de espessura, ele é imensamente menor que os transistores de silício em um chip integrado. Embora extremamente pequenos, eles são bem mais duráveis que os dispositivos de silício. Além disso, eles lidam com o calor muito melhor do que com o silício e, portanto, podem ser montados em fileiras tridimensionais com mais facilidade do que transistores de silício. O dr. Alex Zettl, professor de física na Universidade da Califórnia, em Berkeley, visualiza fileiras tridimensionais de elementos de computação baseados em nanotubos semelhantes a mas bem mais densos e rápidos que o cérebro humano.

COMPUTAÇÃO QUÂNTICA: O UNIUERSO EM UMA XÍCARA

Partículas quânticas são os sonhos de que a matéria é feita.

- David Moser

Até agora estávamos falando de mera computação *digital*. Existe, na verdade, uma abordagem muito mais poderosa, chamada computação *quântica*. Ela promete a capacidade de resolver problemas que nem mesmo computadores digitais maciçamente paralelos podem resolver. Computadores quânticos controlam um resultado paradoxal de mecânica quântica. Na verdade, estou sendo redundante: todos os resultados da mecânica quântica são paradoxais.

Repare que a Lei dos Retornos Acelerados e outras projeções neste livro não confiam na computação quântica. As projeções neste livro são baseadas em tendências que podem ser prontamente mensuráveis, e não se apoiam nas descontinuidades em progresso tecnológico que ocorreram no século XX.

Inevitavelmente acontecerão descontinuidades tecnológicas no século XXI, e a computação quântica certamente se qualificaria entre elas.

O que é a computação quântica? A computação digital é baseada em bits (pedaços) de informação que estão ligados ou desligados zero ou um. Bits são organizados em estruturas maiores como números, letras e palavras, que, por sua vez, podem representar praticamente qualquer forma de informação: texto, sons, imagens, imagens em movimento. A computação quântica, por outro lado, é baseada em *qu-bits* (pronuncia-se *quiu-bits*), que essencialmente são zero e um *ao mesmo tempo*. O qu-bit é baseado na ambiguidade fundamental inerente à mecânica quântica. A posição, o momentum, ou outro estado de uma partícula fundamental permanece “ambíguo” até que um processo de “desambiguação” faça com que essa partícula “decida” onde está, onde esteve e que propriedades possui. Por exemplo, considere um feixe de fótons que atinge uma placa de vidro a um ângulo de 45 graus. À medida que cada fóton atinge o vidro, ele tem uma chance de viajar ou reto através do vidro ou refletindo-se para fora do vidro. Cada fóton irá, na verdade, pegar ambos os caminhos (na verdade mais do que isso, veja na sequência) até que um processo de observação consciente force cada partícula a decidir que caminho tomou. Este comportamento tem sido extensamente confirmado em numerosas Experiências contemporâneas.

Em um computador quântico, os qu-bits seriam representados por uma propriedade o spin do núcleo é uma escolha popular de elétrons individuais. Se configurados da maneira adequada, os elétrons não terão decidido a direção de seu spin do núcleo (para cima ou para baixo) e, portanto, estarão em ambos os estados ao mesmo tempo. O processo de observação consciente dos estados de spin dos elétrons ou quaisquer fenômenos subsequentes que dependam de uma determinação desses estados faz com que a ambiguidade seja resolvida. Esse processo de “desambiguação” é chamado de desagregação quântica. Se não fosse pela desagregação quântica, o mundo em que vivemos seria um lugar realmente impressionante.

A chave para o computador quântico é que nós apresentaríamos um problema a ele, juntamente com uma maneira de testar a resposta. Nós configuraríamos a desagregação quântica dos qu-bits de maneira tal que apenas uma resposta que passasse no teste sobrevivesse à desagregação. As respostas erradas essencialmente cancelam umas às outras. Assim como ocorre com uma série de outras abordagens (por exemplo, algoritmos recursivos e genéticos), uma das chaves para a computação quântica é, portanto, um enunciado cuidadoso do problema, que incluía uma maneira precisa de testar possíveis respostas.

A série de qu-bits representa simultaneamente cada solução possível para o problema. Um único qu-bit representa duas soluções possíveis. Dois qu-bits

vinculados representam quatro respostas possíveis. Um computador quântico com mil qu-bits representa 2^{1000} (isso é aproximadamente igual a um número decimal que consista de 1, seguido por 301 zeros) soluções possíveis simultaneamente. A declaração do problema expressa como um teste a ser aplicado a respostas em potencial é apresentada à fileira de qu-bits de forma que os qu-bits entrem em desagregação (ou seja, cada qu-bit mude de seu ambíguo estado 0-1 para um verdadeiro 0 ou um 1), deixando uma série de 0s e 1s que passam no teste. Essencialmente todas as 2^{1000} soluções possíveis foram experimentadas *simultaneamente*, deixando apenas a solução correta.

O processo de leitura da resposta através da desagregação quântica é obviamente a chave da computação quântica. E também o aspecto mais difícil de se apreender. Considere a seguinte analogia: alunos de física de nível iniciante aprendem que, se a luz atinge um espelho em um determinado ângulo, ela se refletirá na direção oposta e no mesmo ângulo com a superfície. Mas, segundo a teoria quântica, não é isso o que está acontecendo. Cada fóton, na verdade, reflete cada ponto possível no espelho, essencialmente experimentando cada caminho possível. Esses caminhos, em sua grande maioria, se anulam uns aos outros, deixando apenas o caminho que a física clássica prevê. Pense no espelho como representando um problema a ser resolvido. Apenas a solução correta a luz refletida em um ângulo igual ao ângulo de entrada sobrevive a todos os cancelamentos quânticos. Um computador quântico funciona da mesma maneira. O teste da correção da resposta para o problema é configurado de maneira tal que a grande maioria das possíveis respostas as que não passam no teste se anulam umas às outras, deixando apenas a sequência de bits que passa no teste. Um espelho comum, portanto, pode ser considerado como um exemplo especial de um computador quântico, embora seja um computador que soluciona um problema um tanto simples.

Como exemplo mais útil, códigos de encriptação são baseados na fatoração de grandes números (fatoração significa determinar quais números menores, quando multiplicados juntos, resultam no número maior). Fatorar um número com várias centenas de bits é praticamente impossível em qualquer computador digital, mesmo que tivéssemos bilhões de anos para esperar a resposta. Um computador quântico pode experimentar cada combinação possível de fatores simultaneamente e quebrar o código em menos de um bilionésimo de segundo (comunicar a resposta a observadores humanos leva um pouco mais de tempo). O teste aplicado ao computador quântico durante seu estágio-chave de “desambiguação” é muito simples: basta multiplicar um fator pelo outro e, se o resultado for igual ao código de encriptação, então solucionamos o problema.

Já foi dito que a computação quântica está para a computação digital como

uma bomba de hidrogênio está para fogos de artifício. Esta é uma declaração notável quando consideramos que a computação digital é bastante revolucionária por conta própria. A analogia é baseada na seguinte observação: considere (pelo menos teoricamente) um computador (não quântico) do tamanho do Universo, no qual cada nêutron, elétron e próton do Universo é transformado em um computador, e cada um (isto é, cada partícula do Universo) é capaz de computar trilhões de cálculos por segundo. Agora, imagine certos problemas que este supercomputador do tamanho do Universo seria incapaz de resolver, mesmo que rodássemos esse computador até o próximo Big Bang ou até que todas as estrelas do Universo morressem cerca de 10 a 30 bilhões de anos. Existem muitos exemplos de problemas desse tipo, extremamente difíceis de solucionar; por exemplo, quebrar códigos de encriptação que usam mil bits, ou resolver o problema do vendedor viajante com mil cidades. Enquanto um computador digital muito maciço (incluindo nosso computador teórico do tamanho do Universo) é incapaz de resolver esse problema, um computador quântico de tamanho microscópico poderia resolver esses problemas em menos de um bilionésimo de segundo.

Os computadores quânticos são viáveis? Recentes avanços, tanto teóricos quanto práticos, sugerem que a resposta é sim. Embora um computador quântico prático ainda não tenha sido construído, o meio de controlar a desagregação necessária já foi demonstrado. Isaac Chuang, do Laboratório Nacional de Los Alamos, e Neil Gershenfeld, do MIT, chegaram a construir um computador quântico de verdade, utilizando átomos de carbono da molécula de alanina. O computador quântico deles foi capaz somente de somar um mais um, mas já é um começo. Nós, naturalmente, temos confiado nas aplicações práticas de outros efeitos quânticos, como o tunelamento de elétrons em transistores, há décadas.¹⁴

Um computador quântico em uma xícara de café

Uma das dificuldades em projetar um computador quântico é que ele necessita ser extremamente pequeno, basicamente do tamanho de um átomo ou de uma molécula, para controlar os delicados efeitos quânticos. Mas é muito difícil evitar que átomos e moléculas individuais se movam devido a efeitos térmicos. Além do mais, moléculas individuais são geralmente muito instáveis para construir uma máquina confiável. Para resolver esses problemas, Chuang e

Gershenfeld fizeram uma descoberta teórica. A solução deles é pegar uma xícara de líquido e considerar cada molécula como um computador quântico. Agora, em vez de um único computador quântico instável do tamanho de uma molécula, eles têm uma xícara com cerca de 100 bilhões de trilhões de computadores quânticos. A questão aqui não é mais paralelismo maciço, mas uma redundância maciça maior. Dessa maneira, o comportamento inevitavelmente errático de algumas das moléculas não produz efeito no comportamento estatístico de todas as moléculas do líquido. Essa abordagem de utilizar o comportamento estatístico de trilhões de moléculas para superar a falta de confiabilidade de uma única molécula é semelhante à do uso que o professor Adleman fez de trilhões de filamentos de DNA para superar a questão comparável da computação quântica.

Esta abordagem à computação quântica também resolve o problema de ler a resposta bit a bit sem fazer com que os qu-bits que ainda não foram lidos sofram desagregação prematura. Chuang e Gershenfeld sujeitaram seu computador líquido a pulsos de ondas de rádio, que fazem com que as moléculas reajam com sinais indicando o estado do spin de cada elétron. Cada pulso provoca uma certa desagregação indesejada, mas, repetindo, essa desagregação não afeta o comportamento estatístico de trilhões de moléculas. Desta maneira, os efeitos quânticos se tornam estáveis e confiáveis.

Chuang e Gershenfeld estão atualmente construindo um computador quântico que pode fatorar números pequenos. Embora esse modelo inicial não venha a competir com os computadores digitais convencionais, será uma demonstração importante da viabilidade da computação quântica. Aparentemente, no topo da lista deles para um líquido quântico adequado, está o café Java feito na hora, que, conforme observa Gershenfeld, tem “características de aquecimento anormalmente equilibradas”.

Computação quântica com o código da vida

A computação quântica começa a superar a computação digital quando conseguimos vincular pelo menos 40 qu-bits. Um computador quântico de 40 qu-bits estaria avaliando um trilhão de possíveis soluções simultaneamente, o que se igualaria aos supercomputadores mais rápidos. A 60 bits, estaríamos fazendo um milhão de trilhão de tentativas simultâneas. Quando chegarmos às centenas de qu-bits, as capacidades de um computador quântico superarão enormemente qualquer computador digital concebível.

Então a minha ideia é a seguinte: a potência de um computador quântico depende do número de qu-bits que podemos vincular uns aos outros. Precisamos encontrar uma molécula grande que seja especificamente projetada para conter

grandes quantidades de informação. A evolução projetou uma molécula exatamente assim: o DNA. Podemos prontamente criar qualquer molécula do tamanho do DNA que quisermos, desde algumas dezenas de degraus da escada de nucleotídeos a milhares. Então, mais uma vez combinamos duas ideias elegantes neste caso, o computador de DNA líquido e o computador quântico líquido para chegarmos a uma solução maior do que a soma de suas partes. Colocando trilhões de moléculas de DNA em uma xícara, existe o potencial de construir um computador quântico altamente redundante e portanto confiável com tantos qu-bits quantos pudermos controlar. Lembre-se de que você leu isto aqui primeiro.

Suponha que ninguém jamais veja a resposta

Considere que a ambiguidade quântica na qual um computador quântico confia é desagregada, isto é, “desambigüada”, quando uma entidade consciente observa o fenômeno ambíguo. As entidades conscientes, nesse caso, somos nós, os usuários do computador quântico. Mas, ao utilizarmos um computador quântico, não estamos olhando diretamente para os estados de spin do núcleo de elétrons individuais. Os estados de spin são medidos por um aparato que, por sua vez, responde a algumas questões que o computador quântico foi solicitado a resolver. Essas medições são, então, processadas por outros dispositivos eletrônicos, manipuladas um pouco mais por equipamento de computação convencional, e finalmente exibidas ou impressas em um pedaço de papel.

Suponha que nenhum humano ou outra entidade consciente jamais veja o impresso. Nessa situação, não aconteceu observação consciente, e, portanto, não houve desagregação. Conforme discuti antes, o mundo físico só se dá ao trabalho de se manifestar em um estado sem ambiguidade quando um de nós, entidades conscientes, decide interagir com ele. Então a página com a resposta é ambígua, indeterminada até e a menos que uma entidade consciente olhe para ela. Então, instantaneamente, toda a ambiguidade é retroativamente resolvida, e a resposta está lá na página. A implicação é que a resposta não está lá até olharmos para ela. Mas não tente olhar a página rápido demais para ver a página sem resposta; os efeitos quânticos são instantâneos.

Para que serve, afinal?

Uma exigência fundamental para a computação quântica é uma maneira de testar a resposta. Um teste desses nem sempre existe. Entretanto, um computador quântico seria um excelente matemático. Ele poderia simultaneamente considerar cada combinação possível de axiomas e teoremas já solucionados (dentro da capacidade de qu-bits de um computador quântico) para comprovar ou derrubar qualquer conjectura que possa ser comprovada ou negada. Embora uma prova matemática seja, com frequência, extremamente difícil de se ter, confirmar sua validade é algo que costuma ser direto, então a abordagem quântica é bem adequada.

Contudo, a computação quântica não é diretamente aplicável a problemas como jogar um jogo de tabuleiro. Embora o movimento de xadrez “perfeito” para um tabuleiro determinado seja um ótimo exemplo de um problema de computação finito, porém impossível de solucionar, não existe maneira fácil de testar a resposta. Se uma pessoa ou um processo apresentasse uma resposta, não haveria como testar sua validade além de construir a mesma árvore de movimentos e contramovimentos que gerou a resposta em primeiro lugar. Até mesmo para meros “bons” movimentos, um computador quântico não teria vantagens óbvias sobre um computador digital.

E quanto a criar arte? Aqui, um computador quântico teria um valor considerável. Criar uma obra de arte envolve a resolução de uma série, possivelmente uma série extensa, de problemas. Um computador quântico consideraria cada combinação possível de elementos palavras, anotações, toques de teclado para cada decisão do tipo. Ainda precisamos de um jeito de testar cada resposta para a sequência de problemas estéticos, mas o computador quântico seria ideal para vasculhar instantaneamente um universo de possibilidades.

Encriptação destruída e ressuscitada

Conforme mencionado anteriormente, o problema clássico para o qual um computador quântico é idealmente adequado é a quebra de códigos de encriptação, que confia na fatoração de números grandes. A força de um código de encriptação é medida pelo número de bits que precisam ser fatorados. Por exemplo, é ilegal nos Estados Unidos exportar tecnologia de encriptação usando mais de 40 bits (56 bits, se você der uma chave às autoridades). Um método de encriptação de 40 bits não é muito seguro. Em setembro de 1997, Ian Goldberg, um estudante da graduação da Universidade da Califórnia, em Berkeley, conseguiu quebrar um código de 40 bits em três horas e meia, usando uma rede de 250 pequenos computadores.¹⁵ Um código de 56 bits é um pouco melhor (16

bits melhor, na verdade[O autor faz um trocadilho com a palavra *bit*, que também significa *um pouco*, em inglês. - N. do T.]. Dez meses mais tarde, John Gilmore, ativista de privacidade dos computadores, e Paul Kocher, especialista em encriptação, foram capazes de quebrar o código de 56 bits em 56 horas, usando um computador especialmente projetado que lhes custou US\$ 250 mil para construir. Mas um computador quântico pode fatorar facilmente qualquer número dado (dentro de sua capacidade). A tecnologia de computação quântica essencialmente destruiria a encriptação digital.

Mas, assim como a tecnologia tira, também pode dar. Um efeito quântico relacionado pode fornecer um novo método de encriptação que não pode ser quebrado jamais. Mais uma vez, tenha em mente que, em vista da Lei dos Retornos Acelerados, “jamais” não dura mais tanto quanto antigamente.

Este efeito é chamado de emaranhamento quântico. Einstein, que não era fã da mecânica quântica, tinha um nome diferente para isso: chamava-o de “ação fantasmagórica a distância”. O fenômeno foi demonstrado recentemente pelo dr. Nicolas Gisin, da Universidade de Genebra, em uma Experiência recente que percorreu a cidade de Genebra.¹⁶ O dr. Gisin enviou fótons gêmeos em direções opostas através de fibras ópticas. Quando os fótons chegaram a 15 quilômetros de distância, cada um deles encontrou uma placa de vidro na qual poderiam quicar ou que poderiam atravessar. Assim, ambos foram forçados a tomar uma decisão e escolher entre dois caminhos igualmente prováveis. Como não havia elo de comunicação possível entre os dois fótons, a física clássica preveria que suas decisões seriam independentes. Mas ambos tomaram a mesma decisão. E o fizeram no mesmo instante no tempo, de modo que, mesmo que existisse um caminho de comunicação desconhecido entre eles, não havia tempo suficiente para que uma mensagem viajasse de um fóton para outro à velocidade da luz. As duas partículas estavam emaranhadas quanticamente e se comunicaram instantaneamente uma com a outra, independentemente de sua separação. O efeito foi repetido de modo confiável com muitos outros pares de fótons.

A aparente comunicação entre os dois fótons acontece em uma velocidade bem maior do que a velocidade da luz. Na teoria, a velocidade é infinita no fato de que a desagregação das duas decisões de viagem dos fótons, segundo a teoria quântica, acontece exatamente no mesmo instante. A Experiência do dr. Gisin foi suficientemente sensível para demonstrar que a comunicação foi pelo menos 10 mil vezes mais rápida do que a velocidade da luz.

Então, será que isso viola a Teoria Especial da Relatividade de Einstein, que postula que a velocidade da luz é a velocidade mais rápida na qual podemos transmitir informações? A resposta é não: não existe informação sendo comunicada pelos fótons emaranhados. A decisão dos fótons é aleatória uma

profunda aleatoriedade quântica e aleatoriedade é exatamente não-informação. Tanto o emissor quanto o receptor da mensagem acessam simultaneamente as decisões aleatórias idênticas dos fótons emaranhados, que são utilizados para codificar e decodificar, respectivamente, a mensagem. Então, estamos comunicando aleatoriedade não informação a velocidades bem maiores do que a velocidade da luz. A única maneira pela qual poderíamos converter as decisões aleatórias dos fótons em informação seria se editássemos a sequência aleatória de decisões dos fótons. Mas editar essa sequência aleatória exigiria observar as decisões dos fótons, o que, por sua vez, provocaria a desagregação quântica, que destruiria o emaranhamento quântico. Então, a teoria de Einstein está preservada.

Muito embora não conseguíssemos transmitir informações instantaneamente utilizando o emaranhamento quântico, transmitir aleatoriedade ainda é uma coisa muito útil. Isso nos permite ressuscitar o processo de encriptação que a computação quântica destruiria. Se o emissor e o receptor de uma mensagem estiverem nas duas extremidades de uma fibra óptica, poderão utilizar as decisões aleatórias de combinação exata de um feixe de fótons quanticamente emaranhados para respectivamente codificar e decodificar uma mensagem. Como a encriptação é fundamentalmente aleatória e não repetitiva, ela não pode ser quebrada. Uma escuta também seria impossível, pois isso provocaria uma desagregação quântica que poderia ser detectada em ambas as extremidades. Então, a privacidade é preservada.

Observe que, na encriptação quântica, estamos transmitindo o código instantaneamente. A mensagem real chegará muito mais devagar apenas à velocidade da luz.

A consciência quântica revisitada

A perspectiva de computadores competindo com toda a variedade das capacidades humanas gera sentimentos fortes, e frequentemente adversos, assim como uma enormidade de argumentos de que um espectro desse tipo é teoricamente impossível. Um dos mais interessantes argumentos do gênero vem de um matemático e físico de Oxford, Roger Penrose.

Em seu best-seller de 1989, *The emperoTs new mind*, Penrose fez duas conjecturas.¹⁷ A primeira tem a ver com um teorema incômodo, provado por um matemático tcheco, Kurt Gödel. O famoso “teorema da incompletude” de Gödel, que tem sido considerado o mais importante teorema da matemática, afirma que em um sistema matemático poderoso o suficiente para gerar os números naturais, existem inevitavelmente proposições que não podem ser provadas nem negadas.

Esse foi mais um dos insights do século XX que perturbaram a estabilidade do pensamento do século XIX.

Um corolário do teorema de Gödel é que existem proposições matemáticas que não podem ser decididas por um algoritmo. Em essência, esses problemas godelianos impossíveis exigem um número infinito de etapas para ser solucionados. Então, a primeira conjectura de Penrose é que as máquinas não podem fazer o que os humanos podem porque máquinas só conseguem seguir um algoritmo. Um algoritmo não pode resolver um problema godeliano insolúvel. Mas os humanos podem. *Portanto, humanos são melhores.*

Penrose continuou afirmando que os humanos podem resolver problemas insolúveis porque nossos cérebros executam computação quântica. Respondendo subsequentemente às críticas de que os neurônios são grandes demais para exibir efeitos quânticos, Penrose citou pequenas estruturas nos neurônios chamadas de microtúbulos, que podem ser capazes de computação quântica.

Entretanto, a primeira conjectura de Penrose a de que os humanos são inerentemente superiores às máquinas não convence, por pelo menos três motivos.

1. É verdade que as máquinas não conseguem resolver problemas godelianos impossíveis. Mas os humanos também não conseguem resolvê-los. Humanos só conseguem fazer uma estimativa deles. Os computadores também conseguem fazer estimativas, e nos últimos anos estão fazendo um trabalho melhor nesta área do que os humanos.
2. Em qualquer situação, a computação quântica também não permite a resolução de problemas godelianos impossíveis. Resolver um problema godeliano impossível requer um algoritmo com um número infinito de etapas. A computação quântica pode transformar um problema intratável que não poderia ser resolvido com um computador convencional em trilhões de anos em uma computação instantânea. Mas ainda não chega perto da computação infinita.
3. Mesmo que (1) e (2) estejam errados, ou seja, se os humanos conseguissem resolver problemas godelianos impossíveis e o fizessem por causa de sua capacidade de computação quântica, isso ainda não impede as máquinas de executarem computação quântica. É o oposto: se o cérebro humano exibe computação quântica, isso apenas confirmaria que a computação quântica é possível, que a matéria seguindo leis naturais consegue executar a computação quântica. Qualquer mecanismo nos neurônios humanos capaz de computação quântica, como os microtúbulos, seria replicável em uma máquina. Máquinas usam efeitos quânticos tunelamento em trilhões de dispositivos (ou seja, transistores) hoje.¹⁸ Não há nada que sugira que o

cérebro humano tenha acesso exclusivo à computação quântica.

A segunda conjectura de Penrose é mais difícil de resolver. É que uma entidade que exhibe computação quântica é consciente. Ele está dizendo que é a computação quântica humana a responsável por sua consciência. Assim, a computação quântica a desagregação quântica gera a consciência.

Agora sabemos que existe um elo entre a consciência e a desagregação quântica. Isto é, a consciência observando uma incerteza quântica provoca a desagregação quântica. Contudo, Penrose garantiu que existe um elo na direção oposta. Isto não é comprovado de maneira lógica. É claro que a mecânica quântica não é lógica da maneira convencional ela segue a lógica quântica (alguns observadores utilizam a palavra “estranha” para descrever a lógica quântica). Mas, mesmo aplicando lógica quântica, a segunda conjectura de Penrose não parece fazer sentido. Por outro lado, não sou capaz de rejeitá-la de cara porque existe um forte nexos entre a consciência e a desagregação quântica no fato de que a primeira causa a segunda. Tenho pensado no assunto há três anos, e não consegui aceitá-la nem rejeitá-la. Talvez, antes de escrever meu próximo livro, eu tenha uma opinião formada sobre a segunda conjectura de Penrose.

ENGENHARIA REVERSA SOBRE UM DESIGN COMPROVADO: O CÉREBRO HUMANO

Para muitas pessoas, a mente é o último refúgio de mistério contra a disseminação cada vez maior da ciência, e elas não gostam da ideia da ciência engolfando o último pedaço de terra incógnita.

- Herb Simon, citado por Daniel Dennett

Será que não podemos deixar as pessoas serem elas mesmas e desfrutarem da vida de sua própria maneira? Você está tentando criar outro você. Um já basta.

- Ralph Waldo Emerson

Para os sábios de outrora... a solução tem sido o conhecimento e a autodisciplina...e na prática desta técnica, estão prontos para fazer coisas até então consideradas repulsivas e ímpias como desenterrar e mutilar os mortos.

- C. S. Lewis

Inteligência é: (a) o fenômeno mais complexo do universo; ou (b) um processo profundamente simples.

A resposta, claro, (c) ambas acima. É outra daquelas grandes dualidades que tornam a vida interessante. Já conversamos sobre a simplicidade da inteligência: paradigmas simples e o processo simples da computação. Vamos falar a respeito da complexidade.

Voltamos ao conhecimento, que começa com sementes simples, mas acaba se tornando elaborado à medida que o processo de coleta de dados interage com o caótico mundo real. De fato, foi assim que a inteligência teve origem. Foi o resultado do processo evolucionário que chamamos de seleção natural, ela própria um paradigma simples, que tirou sua complexidade do pandemônio de seu ambiente. Vemos o mesmo fenômeno quando controlamos a evolução no computador. Começamos com fórmulas simples, adicionamos o processo simples de iteração evolucionária e combinamos isso com a simplicidade da computação maciça. O resultado, na maioria das vezes, são algoritmos complexos, capazes e inteligentes.

O CÉREBRO É GRANDE O BASTANTE?

Será que nossa concepção do funcionamento dos neurônios humanos e nossas estimativas do número de neurônios e conexões no cérebro humano é consistente com o que sabemos a respeito das capacidades do cérebro? Talvez os neurônios humanos sejam bem mais capazes do que pensamos que são. Se for este o caso, construir uma máquina com capacidades de nível humano poderá levar mais tempo do que o esperado.

Descobrimos que as estimativas do número de conceitos "pedaços" de conhecimento que um especialista humano em um campo em particular dominou são notavelmente consistentes: entre cerca de 50 mil a 100 mil. Esta faixa aproximada parece ser válida para um amplo espectro de empreitadas humanas: o número de posições de tabuleiro dominadas por um grande mestre do xadrez, os conceitos dominados por um especialista em um campo técnico, como um físico, o vocabulário de um escritor (Shakespeare utilizou 29 mil palavras;¹⁹ este livro usa muito menos).

Esse tipo de conhecimento profissional é, naturalmente, apenas um pequeno subconjunto do conhecimento de que precisamos para funcionar como seres humanos. O conhecimento básico do mundo, incluindo o chamado senso comum, é mais extensivo. Nós também possuímos uma capacidade de reconhecimento de padrões: linguagem falada, linguagem escrita, objetos, faces. E nós temos nossas habilidades: andar, falar, pegar bolas de beisebol. Acredito que uma estimativa razoavelmente conservadora do conhecimento geral de um humano típico é mil vezes maior do que o conhecimento de um especialista em seu campo profissional. Isto nos fornece uma estimativa por alto de 100 milhões de pedaços fragmentos de compreensão, conceitos, padrões, habilidades específicas por ser humano. Como veremos abaixo, mesmo que essa estimativa seja baixa (per um fator de até mil), o cérebro ainda é grande o bastante.

O número de neurônios no cérebro humano é estimado em aproximadamente 100 bilhões, com uma média de mil conexões por neurônio, para um total de 100

trilhões de conexões. Com 100 trilhões de conexões e 100 milhões de pedaços de conhecimento (incluindo padrões e habilidades), nós obtemos uma estimativa de cerca de um milhão de conexões por pedaço.

Nossas simulações de computador de redes neurais utilizam uma ampla variedade de tipos diferentes de modelos de neurônios, todos os quais são relativamente simples. Esforços para fornecer modelos eletrônicos detalhados de neurônios verdadeiros de mamíferos parecem demonstrar que, enquanto neurônios de animais são mais complicados do que modelos de computador típicos, a diferença em complexidade é modesta. Até mesmo usando nossas versões computadorizadas mais simples dos neurônios, descobrimos que podemos modelar um pedaço de conhecimento um rosto, a forma de um personagem, um fonema, o significado de uma palavra usando meras mil conexões por pedaço. Assim, nossa estimativa por alto de um milhão de conexões neurais no cérebro humano por pedaço de conhecimento humano parece razoável.

De fato, ela parece bem grande. Assim, poderíamos tornar minha estimativa (do número de pedaços de conhecimento) mil vezes maior, e o cálculo ainda funciona. Mas é provável que a codificação de conhecimento do cérebro seja menos eficiente do que os métodos que utilizamos em nossas máquinas. Esta aparente ineficiência é consistente com nossa compreensão de que o cérebro humano é projetado de forma conservadora. O cérebro confia em um grande grau de redundância e uma densidade relativamente baixa de armazenamento de informações para adquirir confiabilidade e continuar a funcionar com eficiência, apesar de uma alta taxa de perda de neurônios à medida que envelhecemos.

Minha conclusão é que não parece que precisemos contemplar um modelo de processamento de informações de neurônios individuais que seja significativamente mais complexo do que atualmente compreendemos para explicar a capacidade humana. O cérebro é grande o bastante.

Mas não precisamos simular toda a evolução do cérebro humano para desvendar os intrincados segredos que ele contém. Assim como uma empresa de tecnologia irá separar as peças do produto do concorrente e fazer “Engenharia reversa” (analisar para compreender os métodos), nós podemos fazer o mesmo com o cérebro humano. Afinal de contas, ele é o melhor exemplo de um processo inteligente no qual podemos colocar as mãos. Podemos nos aproveitar da arquitetura, da organização e do conhecimento inato do cérebro humano para acelerar enormemente nossa compreensão de como projetar inteligência em uma máquina. Ao sondar os circuitos do cérebro, podemos copiar e imitar um design comprovado, um design que tenha custado ao seu projetista original bilhões de anos de desenvolvimento. (E não tem sequer Copyright.)

À medida que nos aproximamos da capacidade computacional de simular o cérebro humano ainda não chegamos lá, mas começaremos em cerca de uma década um esforço desses será intensamente perseguido. Na verdade, essa empreitada já começou.

Por exemplo, o chip de visão da Synaptics é fundamentalmente uma cópia da organização neural, implementada em silício, claro, não só da retina humana, como também dos primeiros estágios do processamento visual dos mamíferos. Ele capturou a essência do algoritmo dos primórdios do processamento visual dos mamíferos, um algoritmo chamado filtro central de *surround*. Não é um chip particularmente complicado, mas captura de modo realista a essência dos estágios iniciais da visão humana.

Existe um conceito popular entre observadores, tanto os informados quanto os não informados, de que um projeto de Engenharia reversa desses é inviável. A preocupação de Hofstadter é que “nossos cérebros podem ser fracos demais para compreenderem a si próprios.”²⁰ Mas não é o que estamos descobrindo. À medida que sondamos os circuitos do cérebro, descobrimos que os algoritmos de processamento paralelo maciço estão longe de ser incompreensíveis. Tampouco existe alguma coisa parecida com um número infinito deles. Existem centenas de regiões especializadas no cérebro, e ele tem uma arquitetura um tanto ornamentada, consequência de sua longa história. O quebra-cabeças, em sua totalidade, não está além de nossa compreensão. Ele certamente não estará além da compreensão das máquinas do século XXI.

O conhecimento está bem ali à nossa frente, ou melhor, dentro de nós. Não é impossível de obter. Vamos começar com o cenário mais simples, um cenário que hoje já é essencialmente viável (pelo menos para iniciar).

Começamos congelando um cérebro recém-morto.

Agora, antes que eu comece a receber muitas reações indignadas, deixem-me usar o apoio de Leonardo da Vinci. Leonardo também recebeu uma reação incomodada de seus contemporâneos. Ele era um sujeito que roubava cadáveres do necrotério, levava-os em carrinhos de mão até seu estúdio e, então, os desmembrava. Isso foi antes que a dissecação de cadáveres entrasse na moda. Ele fez isso em nome do conhecimento, que não era uma meta grandemente valorizada naquela época. Ele queria aprender como o corpo humano funcionava, mas seus contemporâneos achavam suas atividades bizarras e desrespeitosas. Hoje, temos um ponto de vista diferente: o de que expandir nosso conhecimento desta fantástica máquina é a homenagem mais respeitosa que podemos prestar. Nós cortamos cadáveres o tempo todo para aprender mais sobre como os corpos vivos funcionam, e para ensinar a outras pessoas o que já aprendemos.

Não há diferença aqui no que estou sugerindo. A não ser por uma coisa: eu estou falando do cérebro, não do corpo. Isto tem mais a ver com o centro da questão. Nós nos identificamos mais com nossos cérebros do que com nossos corpos. A cirurgia cerebral é considerada mais invasiva do que uma cirurgia no dedão do pé. Mas o valor do conhecimento a ser ganho com a sondagem do cérebro é valioso demais para ser ignorado. Então, vamos superar qualquer prurido que ainda exista.

Como eu estava dizendo, começamos congelando um cérebro morto. Este conceito não é novo: o dr. E. Fuller Torrey, ex-supervisor do Instituto Nacional de Saúde Mental e hoje chefe do ramo de saúde mental de uma fundação de pesquisa privada, possui 44 freezers lotados com 226 cérebros congelados.²¹ Torrey e seus parceiros esperam obter informações preciosas sobre as causas da esquizofrenia, e por isso todos os seus cérebros são de pacientes esquizofrênicos falecidos, o que provavelmente não é ideal para nossos propósitos.

Examinamos uma camada cerebral uma fatia muito fina de cada vez. Com um equipamento de varredura bidimensional sensível o suficiente, deveremos ser capazes de ver cada neurônio e cada conexão representada em cada camada com a espessura de uma sinapse. Quando uma camada tiver sido examinada e os dados requisitados armazenados, ela poderá ser raspada para revelar a camada seguinte. Essas informações podem ser armazenadas e reunidas em um gigantesco modelo tridimensional da fiação e da topologia neural do cérebro.

Seria melhor se os cérebros congelados não estivessem mortos muito tempo antes do congelamento. Um cérebro morto revelará muita coisa sobre cérebros vivos, mas obviamente não é o laboratório ideal. Uma parte dessa condição de morto irá se refletir em uma deterioração de sua estrutura neural. Provavelmente não queremos basear nossos designs para máquinas inteligentes em cérebros mortos. Provavelmente seremos capazes de tirar vantagens de pessoas que, ao enfrentar morte iminente, permitam que seus cérebros sejam escaneados de forma destrutiva pouco antes que parem de funcionar, e não pouco depois. Recentemente, um assassino condenado permitiu que seu cérebro e seu corpo fossem escaneados, e você pode acessar todos os 10 bilhões de bytes dele na Internet, no website Visible Human Project, do Centro para Simulação Humana.²² Existe também uma companheira fêmea de 2 5 bilhões de bytes com resolução ainda mais alta. Embora a varredura desse casal não tenha resolução alta o bastante para o cenário visualizado aqui, é um exemplo de como doar seu cérebro para Engenharia reversa. Naturalmente, podemos não querer basear nossos modelos de inteligência de máquina no cérebro de um assassino condenado, de qualquer maneira.

E mais fácil falar sobre os métodos não invasivos de escanear nossos

cérebros que estão surgindo. Comecei com o cenário mais invasivo acima porque é tecnicamente muito mais fácil. Na verdade, temos os meios de conduzir uma varredura destrutiva hoje (embora ainda não tenhamos a largura de banda para varrer o cérebro inteiro em um espaço de tempo razoável). Em termos de varredura não invasiva, scanners de imagem por ressonância magnética (MRI) de alta velocidade e alta resolução já são capazes de visualizar somas (corpos de neurônios) individuais sem perturbar o tecido vivo que está sendo escaneado. Estão sendo desenvolvidos MRIs mais poderosos, capazes de escanear fibras nervosas individuais de apenas 10 micra (milionésimos de metro) de diâmetro. Eles estarão disponíveis durante a primeira década do século XXI. Em breve, seremos capazes de fazer uma varredura das vesículas pré-sinápticas que são o lar do aprendizado humano.

Podemos dar uma olhadinha no interior do cérebro de uma pessoa hoje com scanners de MRI, que estão aumentando sua resolução a cada nova geração desta tecnologia. Existe uma série de desafios técnicos para atingir isso, incluindo resolução adequada, largura de banda (isto é, velocidade de transmissão), falta de vibração e segurança. Por uma série de motivos, é mais fácil varrer o cérebro de alguém morto recentemente do que de alguém que ainda está vivo. (É mais fácil fazer com que alguém que acabou de morrer fique parado, por exemplo.) Mas a varredura não invasiva de um cérebro vivo acabará se tornando viável, à medida que a MRI e outras tecnologias de varredura continuarem a melhorar em resolução e velocidade.

Uma nova tecnologia de varredura chamada imageamento óptico, desenvolvida pelo professor Amiram Grinvald, no Weizmann Institute de Israel, é capaz de uma resolução significativamente mais alta que a **MRI**. Assim como a ressonância magnética, ela se baseia na interação entre a atividade elétrica dos neurônios e a circulação do sangue nos capilares que alimentam os neurônios. O dispositivo de Grinvald é capaz de efetuar a resolução em objetos menores que 50 micra, e pode operar em tempo real, permitindo assim que cientistas presenciem o disparo de neurônios individuais. Grinvald e pesquisadores do Max Planck Institute, na Alemanha, ficaram surpresos com a notável regularidade dos padrões de disparo neural quando o cérebro estava ocupado com o processamento de informações visuais.²³ Um dos pesquisadores, o dr. Mark Hübener, comentou que “nossos mapas do cérebro em funcionamento são tão ordeiros que lembram o mapa das ruas de Manhattan, em vez de, digamos, uma cidade européia medieval.” Entretanto, Grinvald e seus parceiros foram capazes de utilizar seu scanner cerebral para distinguir entre conjuntos de neurônios responsáveis pela percepção de profundidade, forma e cor. A medida

que esses neurônios interagem uns com os outros, o padrão resultante de disparos neurais lembra mosaicos elaboradamente conectados. A partir das varreduras, foi possível para os pesquisadores ver como os neurônios estavam alimentando uns aos outros com informações. Por exemplo, eles notaram que os neurônios de percepção de profundidade estavam dispostos em colunas paralelas, fornecendo informações aos neurônios detectores de forma que compunham padrões mais elaborados do tipo cata-vento. Atualmente, a tecnologia de varredura de Grinvald é capaz apenas de produzir a imagem de uma fina fatia do cérebro perto de sua superfície, mas o Weizmann Institute está trabalhando em refinamentos que estenderão sua capacidade tridimensional. A tecnologia de varredura de Grinvald também está sendo usada para aprimorar a resolução da varredura da **MRI**. Uma descoberta recente de que a luz quase infravermelha pode atravessar o crânio também está provocando animação a respeito da capacidade da técnica de imageamento como método de alta resolução de varredura cerebral.

A força motriz por trás da capacidade em franco desenvolvimento das tecnologias não-invasivas de varredura como a **MRI** é novamente a Lei dos Retornos Acelerados, pois ela requer uma capacidade computacional maciça para construir as imagens tridimensionais de alta resolução a partir dos padrões de ressonância magnética puros que um scanner de MRI produz. A capacidade computacional que aumenta exponencialmente fornecida pela Lei dos Retornos Acelerados (e, por mais 15 ou 20 anos, pela Lei de Moore) nos permitirá continuar a aumentar rapidamente a resolução e a velocidade dessas tecnologias de varredura não invasivas.

Mapear o cérebro humano sinapse por sinapse pode parecer um esforço assombroso, mas foi o que fez o Projeto Genoma Humano, um esforço para mapear todos os genes humanos, quando foi lançado em 1991. Embora a maior parte do código genético humano ainda não tenha sido decodificada (Prevista para 2004, a decodificação completa do genoma humano acabou sendo totalmente executada em 2000.- N. do T.), há confiança nos nove Centros Americanos de Sequenciamento de Genoma de que a tarefa será completada, se não até 2005, pelo menos em alguns anos após a data-alvo. Recentemente, um novo empreendimento privado com suporte financeiro da Perkin-Elmer anunciou planos de sequencializar todo o genoma humano por volta do ano 2001. Conforme observei, o ritmo do genoma humano foi extremamente lento em seus primeiros anos, e tem ganhado velocidade com o aperfeiçoamento da tecnologia, em particular programas de computador que identificam as informações genéticas úteis. Os pesquisadores estão contando com futuros aperfeiçoamentos em seus programas de computador caçadores de genes para cumprir o cronograma. O mesmo acontecerá com o projeto de

mapeamento do cérebro humano, à medida que nossos métodos de varredura e gravação dos 100 trilhões de conexões neurais comecem a ganhar velocidade com a Lei dos Retornos Acelerados.

O que fazer com as informações

Existem duas possibilidades para a utilização de varreduras detalhadas do cérebro. A mais imediata varrer o cérebro para compreendê-lo é varrer porções do cérebro para garantir a arquitetura e os algoritmos implícitos de conexões interneuronais em diferentes regiões. A posição exata de cada fibra nervosa não é tão importante quanto o padrão global. Com essas informações, podemos projetar redes neurais simuladas que operam de forma semelhante. Este processo será como descascar uma cebola, à medida que cada camada de inteligência humana for revelada.

Isto é essencialmente o que a Synaptics tem feito em seu chip que imita o processamento de imagens neurais dos mamíferos. Isto é também o que Grinvald, Hübener e associados planejam fazer com suas varreduras de córtex visual. E existem dezenas de outros projetos atuais criados para varrer partes do cérebro e aplicar os insights resultantes ao projeto de sistemas inteligentes.

Dentro de uma região, os circuitos do cérebro são altamente repetitivos, então apenas uma pequena parte de uma região precisa ser inteiramente varrida. A atividade computacionalmente relevante de um neurônio ou grupo de neurônios é suficientemente simples para que possamos compreender e modelar esses métodos, examinando-os. Assim que a estrutura e a topologia dos neurônios, a organização da fiação interneuronal e a sequência de disparo neural tiverem sido observadas, registradas e analisadas, será viável executar uma operação de Engenharia reversa dos algoritmos paralelos daquela região. Depois que os algoritmos de uma região forem compreendidos, eles poderão ser refinados e estendidos antes de serem implementados em equivalentes neurais sintéticos. Os métodos podem certamente ser enormemente acelerados, pois a eletrônica já está mais de 1 milhão de vezes mais rápida que os circuitos neurais.

Podemos combinar os algoritmos revelados com os métodos para construir máquinas inteligentes que já compreendemos. Também podemos descartar aspectos da computação humana que podem não ser úteis em uma máquina. Naturalmente, teremos de tomar cuidado para não jogar fora o bebê com a água do banho.

Baixando sua mente para seu computador pessoal

Uma possibilidade mais desafiadora, porém mais viável, no fim das contas, será varrer o cérebro de uma pessoa para mapear as localizações, as interconexões e o conteúdo dos somas, dos axônios, dos dendritos, das vesículas pré-sinápticas e outros componentes neurais. Toda a sua organização poderia, então, ser recriada em um computador neural de capacidade suficiente, incluindo o conteúdo de sua memória.

Isto é mais difícil, obviamente, do que a possibilidade de varrer-o-cérebro para compreendê-lo. Na anterior, precisamos apenas de uma amostra de cada região até compreendermos os algoritmos que se destacam. Poderemos então combinar esses insights com conhecimento que já possuímos. Neste cenário *varrer o cérebro para fazer download dele* precisamos capturar cada mínimo detalhe. Por outro lado, não precisamos compreender tudo; precisamos apenas literalmente copiá-lo, conexão por conexão, sinapse por sinapse, neurotransmissor por neurotransmissor. Isso nos exige que compreendamos processos cerebrais *locais*, mas não necessariamente a organização global do cérebro, pelo menos não completamente. E provável que, quando conseguirmos fazer isso, consigamos compreender grande parte dele, de qualquer maneira.

Para fazer isso corretamente, precisamos compreender o que são os mecanismos de processamento de informações que se destacam. Grande parte da elaborada estrutura de um neurônio existe para dar suporte à sua própria integridade estrutural e processos vitais, e não contribui diretamente para sua manipulação de informações. Sabemos que o processamento de computação de neurônios é baseado em centenas de diferentes neurotransmissores e que diferentes mecanismos neurais em diferentes regiões permitem diferentes tipos de computação. Os primeiros neurônios de visão, por exemplo, são bons em acentuar súbitas mudanças de cor para facilitar a descoberta das bordas de objetos. Os neurônios do hipocampo provavelmente possuem estruturas para aumentar a retenção de memórias por longo prazo. Sabemos também que os neurônios utilizam uma combinação de computação digital e analógica que precisa ser modelada com precisão. Precisamos identificar estruturas capazes de computação quântica, ou de alguma computação. Todas as características principais que afetam o processamento de informações precisam ser reconhecidas se precisamos copiá-las com precisão.

Qual a eficácia desse processo? Naturalmente, como qualquer nova tecnologia, não será perfeita no começo, e os primeiros downloads serão um tanto imprecisos. Pequenas imperfeições não serão necessariamente notadas de imediato porque as pessoas estão sempre mudando em algum nível. Conforme nossa compreensão dos mecanismos do cérebro for aumentando e nossa capacidade de efetuar uma varredura precisa e não invasiva aumentar,

reinstanciar (reinstalar) o cérebro de uma pessoa não deverá alterar a mente de uma pessoa mais do que ela muda diariamente.

O que descobriremos quando fizermos isso?

Precisamos levar em conta esta questão tanto em nível objetivo quanto no subjetivo. “Objetivo” significa todo mundo menos eu, então vamos começar por aí. Objetivamente, quando efetuarmos a varredura do cérebro de uma pessoa e reinstanciarmos seu arquivo mental pessoal em um meio computacional adequado, a “pessoa” recém-emergente parecerá a outros observadores ter praticamente a mesma personalidade, história e memória que a pessoa originalmente escaneada. Interagir com a pessoa recém-instanciada será parecido com interagir com a pessoa original. A nova pessoa afirmará ser a mesma velha pessoa e terá uma memória de ter sido aquela pessoa, tendo crescido no Brooklyn, tendo caminhado para dentro de um scanner aqui, e despertado na máquina ali. Ele dirá: “Puxa, essa tecnologia funciona mesmo!”

Existe aquela pequena questão do corpo da “nova pessoa”. Que tipo de corpo uma mente pessoal reinstanciada terá? O corpo humano original, um corpo aprimorado, um corpo sintético, um corpo com nanoEngenharia, um corpo virtual em um ambiente virtual? Esta é uma questão importante, que discutirei no próximo capítulo.

Subjetivamente, a questão é mais sutil e profunda. Será esta a mesma consciência da pessoa que acabamos de escanear? Como vimos no Capítulo 3, existem argumentos fortes em ambos os lados. A posição de que fundamentalmente nós somos nosso “padrão” (porque nossas partículas estão sempre mudando) argumentaria que esta nova pessoa é a mesma porque seus padrões são essencialmente idênticos. O argumento contrário, entretanto, é a possível existência continuada da pessoa que foi originalmente escaneada. Se ele – Jack - ainda estiver vivo, ele irá afirmar de modo convincente que representa a continuidade de sua consciência. Ele pode até não ficar satisfeito em deixar que seu clone mental continue a prosseguir em seu rastro. Vamos continuar tratando dessa questão enquanto explorarmos o século XXI.

Mas, assim que ultrapassarmos a linha divisória, a nova pessoa certamente pensará que era a pessoa original. Não haverá ambivalência em sua cabeça quanto à possibilidade de ele ter ou não cometido suicídio quando concordou em ser transferido para um novo substrato computacional, deixando para trás sua

velha maquinaria de computação neural baseada em carbono. Se ele se pergunta se é mesmo ou não a mesma pessoa que pensa que é, ele ficará feliz por seu velho “eu” ter corrido o risco, porque senão ele não existiria.

Será que ele a mente recém-instalada é consciente? Ele certamente alegrará isso. E, por ser muito mais capaz que seu velho “eu” neural, ele será persuasivo e eficiente em sua posição. Nós acreditaremos nele. Ele vai ficar louco se não acreditarmos.

Uma tendência crescente

Na segunda metade do século XXI, haverá uma tendência crescente a se dar esse salto. Inicialmente, haverá um transporte parcial: substituição de velhos circuitos de memória, extensão de circuitos de raciocínio e reconhecimento de padrões por implantes neurais. E, por fim, bem antes do final do século XXI, as pessoas farão um transporte de todo o seu arquivo mental para a nova tecnologia de pensamento.

Haveria nostalgia por nossas humildes raízes com base em carbono, mas também existe nostalgia por discos de vinil. No fim das contas, acabamos copiando a maioria daquela música analógica para o mundo mais flexível e capaz das informações digitais transferíveis. O salto para transportarmos nossas mentes para um meio computacional mais capaz acontecerá de modo gradual, mas inexorável.

Quando nos transportarmos, também nos estenderemos de modo muito vasto. Lembre-se de que mil dólares de computação em 2060 terão a capacidade computacional de 1 trilhão de cérebros humanos. Então, poderíamos também multiplicar a memória por 1 trilhão, estendendo enormemente as capacidade de reconhecimento e raciocínio, e nos conectar à rede de comunicações sem fio invasiva. E já que estamos falando nisso, podemos acrescentar todo o conhecimento humano como um banco de dados interno prontamente acessível, assim como o conhecimento já processado e aprendido, utilizando o tipo humano de compreensão distribuída.

Os pacientes são levados em macas com rodízios. Sofrendo de um avançado estágio de mal de Parkinson, eles parecem estátuas, os músculos paralisados, os corpos e rostos totalmente imóveis. Então, em uma dramática demonstração em uma clínica na França, o médico encarregado aciona um interruptor elétrico.

Subitamente, os pacientes adquirem vida, levantam-se, e de modo calmo e expressivo descrevem como superaram seus sintomas debilitantes. Este é o resultado dramático de uma nova terapia de implante neural que é aprovada na Europa, e ainda aguarda aprovação da FDA (Food and Drugs Administration, órgão do governo dos EUA que regula o comércio e o consumo de alimentos e medicações naquele país. - N. do T.)

nos Estados Unidos.

Os pacientes são levados em macas com rodízios. Sofrendo de um avançado estágio de mal de Parkinson, eles parecem estátuas, os músculos paralisados, os corpos e rostos totalmente imóveis. Então, em uma dramática demonstração em uma clínica na França, o médico encarregado aciona um interruptor elétrico. Subitamente, os pacientes adquirem vida, levantam-se, e de modo calmo e expressivo descrevem como superaram seus sintomas debilitantes. Este é o resultado dramático de uma nova terapia de implante neural que é aprovada na Europa, e ainda aguarda aprovação da FDA (nos Estados Unidos).

Os níveis diminutos da dopamina dos neurotransmissores em um paciente com Parkinson provocam a superativação de duas minúsculas regiões do cérebro: o núcleo posterior ventral e o núcleo subtálmico. Essa super ativação, por sua vez, provoca a lentidão, a rigidez e as dificuldades de locomoção da doença, e acaba resultando em total paralisia e morte. O dr. A. L. Benabid, médico francês da Universidade Fourier, em Grenoble, descobriu que estimular essas regiões com um eletrodo implantado permanentemente, paradoxalmente, inibe essas regiões superativas e reverte os sintomas. Os eletrodos são conectados a uma pequena unidade de controle eletrônico colocada no peito do paciente. Através de sinais de rádio, a unidade pode ser programada, e até mesmo ligada ou desligada. Quando desligada, os sintomas imediatamente retornam. O tratamento promete controlar os sintomas mais devastadores da doença.²⁴

Abordagens similares foram utilizadas com outras regiões do cérebro. Por exemplo, implantando um eletrodo no tálamo lateral ventral, os tremores associados à paralisia cerebral, à esclerose múltipla e a outras condições causadoras de tremores podem ser suprimidas.

"Nós costumávamos tratar o cérebro como sopa, acrescentando substâncias químicas que aumentam ou suprimem determinados neurotransmissores", disse Rick Trosch, um dos médicos americanos que ajudam a aperfeiçoar terapias de "estimulação cerebral profunda". "Agora, nós o estamos tratando como circuitos."²⁵

Cada vez mais, estamos começando a combater afecções cognitivas e sensoriais, tratando o cérebro e o sistema nervoso como o sistema computacional complexo que ele é. Implantes cocleares, juntamente com processadores eletrônicos de fala, executam análises de frequência de ondas sonoras, semelhantes à realizada pelo ouvido interno. Cerca de 10% de ex-surdos que receberam este dispositivo de substituição neural são hoje capazes de ouvir e compreender vozes bem o suficiente para conversar usando um telefone normal.

Neurologista e oftalmologista na Harvard Medical School, o dr. Joseph Rizzo e seus colegas desenvolveram um implante de retina experimental. O implante neural de Rizzo é um pequeno computador movido a energia solar que se comunica com o nervo óptico. O usuário usa óculos especiais com minúsculas câmeras de televisão que se comunicam com o computador implantado por intermédio de sinais de laser.²⁶

Pesquisadores do Instituto de Bioquímica Max Planck, na Alemanha, desenvolveram dispositivos especiais de silício que podem se comunicar com neurônios em ambas as direções. Estimular neurônios diretamente com uma corrente elétrica não é a abordagem ideal, já que isso pode provocar corrosão nos eletrodos e criar subprodutos químicos que danificam as células. Em contraste, os dispositivos do Instituto Max Planck são capazes de disparar um neurônio adjacente sem uma ligação elétrica direta. Os cientistas do instituto demonstraram sua invenção, controlando os movimentos de uma sanguessuga viva a partir do computador deles.

Indo na direção oposta de neurônios à eletrônica está um dispositivo chamado "transistor de neurônios",²⁷ que pode detectar o disparo de um neurônio. Os cientistas esperam aplicar ambas as tecnologias ao controle de membros humanos artificiais, ligando nervos espinhais a próteses computadorizadas. Peter Fromherz, do Instituto, disse: "Essas dois dispositivos juntam os dois mundos do processamento de informações: o mundo de silício do computador e o mundo aquático do cérebro."

O neurobiólogo Ted Berger e seus colegas da Hedco Neurosciences and Engineering construíram circuitos integrados que correspondem precisamente às propriedades e ao processamento de informações de grupos de neurônios de animais. Os chips reproduzem exatamente as características digitais e analógicas dos neurônios que eles analisaram. Atualmente, eles estão aumentando a escala de sua tecnologia para sistemas com centenas de neurônios.²⁸ O professor Carver Mead e seus colegas do Instituto de Tecnologia da Califórnia também construíram circuitos integrados que correspondem ao processamento de circuitos neurais de mamíferos que compreendem centenas de neurônios.²⁹

A era dos implantes neurais está a caminho, embora ainda no estágio inicial. O aumento direto do processamento de informações de nosso cérebro com circuitos sintéticos está se concentrando primeiro em corrigir os defeitos gritantes provocados por doenças e deficiências neurológicas e sensoriais. No fim, todos nós acharemos difícil resistir aos benefícios de estender nossas habilidades por intermédio de implantes neurais.

A Nova Mortalidade

Na verdade, não existirá mortalidade ao final do século XXI. Não no sentido em que estamos acostumados. Não se você se aproveitar da tecnologia de transporte de cérebro do século XXI. Até agora, nossa mortalidade estava amarrada à longevidade de nosso *hardware*. Quando o *hardware* falhava, era o fim. Para muitos de nossos antepassados, o *hardware* gradualmente se deteriorava antes de se desintegrar. Yeats lamentava nossa dependência de um self físico que era “coisa desprezível, um casaco em farrapos apoiado numa bengala”.³⁰ Quando atravessamos a linha para nos instanciarmos em nossa tecnologia computacional, nossa identidade será baseada em nosso arquivo de mente evolutiva. *Nós seremos software, e não hardware.*

E ela irá evoluir de verdade. Hoje, nosso software não consegue crescer. Ele está preso em um cérebro de meros 100 trilhões de conexões e sinapses. Mas quando o *hardware* for trilhões de vezes mais capaz, não haverá razão pela qual nossas mentes permaneçam tão pequenas. Elas podem crescer, e crescerão.

Como software, nossa mortalidade não será mais dependente da sobrevivência dos circuitos de computação. Ainda existirão *hardware* e corpos, mas a essência de nossa identidade será transferida para a permanência de nosso software. Assim como, hoje, não jogamos nossos arquivos fora quando trocamos de computadores pessoais nós os transferimos, pelo menos aqueles que desejamos manter. Então, nós também não jogaremos fora nosso arquivo da mente quando periodicamente nos transferirmos para o computador “pessoal” mais recente e cada vez mais capaz. E claro que os computadores não serão os objetos discretos que são hoje. Eles estarão profundamente incorporados em nossos corpos, cérebros e ambientes. Nossa identidade e sobrevivência se tornarão, em última análise, independentes do *hardware* e de sua sobrevivência.

Nossa imortalidade será uma questão de termos cuidado suficiente para fazermos backups com frequência. Se formos descuidados, teremos de carregar uma velha cópia de backup e estaremos condenados a repetir nosso passado recente.

VAMOS PULAR PARA O OUTRO LADO DESTE SÉCULO QUE ACABOU DE COMEÇAR. VOCÊ DISSE QUE, EM 2099, UM CENTAVO DE COMPUTAÇÃO EQUIVALERÁ A 1 BILHÃO DE VEZES O PODER DE COMPUTAÇÃO DE TODOS OS CÉREBROS HUMANOS

COMBINADOS. PARECE QUE O PENSAMENTO HUMANO VAI SER MUITO TRIVIAL.

Sem ajuda, isso é verdade.

ENTÃO COMO NÓS, SERES HUMANOS, VIVEREMOS NO MEIO DE TAMANHA COMPETIÇÃO?

Primeiro, teremos de reconhecer que a mais poderosa tecnologia a civilização tecnologicamente mais sofisticada sempre vence. Isso parece ser o que aconteceu quando nossa subespécie *Homo sapiens sapiens* encontrou o *Homo sapiens neanderthalensis* e outras espécies não sobreviventes do *Homo sapiens*. Foi isso o que aconteceu quando os europeus tecnologicamente mais avançados encontraram os povos indígenas das Américas. Isto está acontecendo hoje, pois a tecnologia mais avançada é o principal fator determinante do poder econômico e militar.

ENTÃO SEREMOS ESCRAVOS DESSAS MÁQUINAS INTELIGENTES?

Escravidão não é um sistema econômico frutífero para nenhum dos lados em uma era do intelecto. Nós não teríamos valor como escravos para máquinas. Ao contrário, a relação está começando da maneira contrária.

É VERDADE QUE MEU COMPUTADOR PESSOAL FAZ O QUE O MANDO FAZER ÀS VEZES! QUEM SABE EU NÃO DEVERIA COMEÇAR A SER MAIS EDUCADO COM ELE?

Não, o modo como você o trata não faz diferença. Mas, em última análise, nossas capacidades de pensamento criativo não serão páreo para a tecnologia totalmente abrangente que estamos criando.

TALVEZ DEVÉSSEMOS PARAR DE CRIÁ-LA.

Não podemos parar. A Lei dos Retornos Acelerados proíbe isso! E a única maneira de fazer com que a evolução continue seguindo em um ritmo acelerado.

EL, CALMA AÍ! POR MIM, SE A EVOLUÇÃO REDUZIR O RITMO UM POUCO, NÃO HÁ PROBLEMA. DESDE QUANDO NÓS ACEITAMOS A SUA LEI DE ACELERAÇÃO COMO A LEI DA TERRA?

Não precisamos sequer fazer isso. Deter a tecnologia de computadores, ou qualquer outra tecnologia que dê frutos, significaria repelir as realidades básicas da competição econômica, isso para não mencionar nossa busca pelo conhecimento. Não vai acontecer. Além do mais, a estrada que estamos percorrendo está asfaltada com ouro. Ela está cheia de benefícios aos quais jamais iremos resistir crescimento contínuo em prosperidade econômica, uma saúde melhor, comunicação mais intensa, educação mais eficiente, entretenimento mais interessante, sexo melhor.

ATÉ OS COMPUTADORES ASSUMIREM O CONTROLE.

Escute, isso não é uma invasão alienígena. Embora pareça perturbador, o advento das máquinas com uma vasta inteligência não é necessariamente uma coisa ruim.

ACHO QUE, SE NÃO PODEMOS VENCÊ-LAS, VAMOS TER DE NOS JUNTAR A ELAS.

É exatamente o que vamos fazer. Os computadores começaram como extensões de nossas mentes, e acabarão estendendo nossas mentes. As máquinas já são parte integrante de nossa civilização, e as máquinas sensuais e espirituais do século XXI serão parte ainda mais íntima de nossa civilização.

OK, EM TERMOS DE ESTENDER A MINHA MENTE, VAMOS VOLTAR AOS IMPLANTES PARA MINHA AULA DE LITERATURA FRANCESA. VAI SER COMO SE EU TIVESSE LIDO TODAS AS AULAS? OU VAI SIMPLEMENTE SER COMO UM COMPUTADOR PESSOAL INTELIGENTE COM O QUAL POSSO ME COMUNICAR RAPIDAMENTE PORQUE, POR ACASO, ELE ESTÁ LOCALIZADO NA MINHA CABEÇA?

Essa é uma questão fundamental, e acho que será controvertida. Ela remonta à questão da consciência. Algumas pessoas acham que o que entra em seus implantes neurais é de fato subsumido por suas consciências. Outros sentirão que ela permanece do lado de fora do seu sentido de self. Em última análise, acho que iremos considerar a atividade mental dos implantes como parte de nosso próprio pensamento. Pense que, mesmo sem implantes, ideia e pensamentos estão constantemente pipocando em nossas cabeças, e não temos muita ideia de onde elas vêm, ou como chegaram ali. Mesmo assim, consideramos todos os fenômenos mentais dos quais temos consciência como sendo nossos próprios pensamentos.

ENTÃO, EU SEREI CAPAZ DE BAIXAR MEMÓRIAS DE EXPERIÊNCIAS QUE NUNCA TIVE?

Sim, mas alguém provavelmente já teve a Experiência. Então, por que não ter a habilidade de compartilhá-la?

SUPONHO QUE, PARA ALGUMAS EXPERIÊNCIAS, PODERIA SER MAIS SEGURO SIMPLEMENTE BAIXAR AS MEMÓRIAS DELA.

E também consumiria menos tempo.

VOCÊ REALMENTE ACHA QUE ESCANEAR UM CÉREBRO CONGELADO É VIÁVEL HOJE EM DIA?

Claro, basta enfiar sua cabeça no meu freezer aqui.

PUXA, VOCÊ TEM CERTEZA DE QUE ISSO É SEGURO?

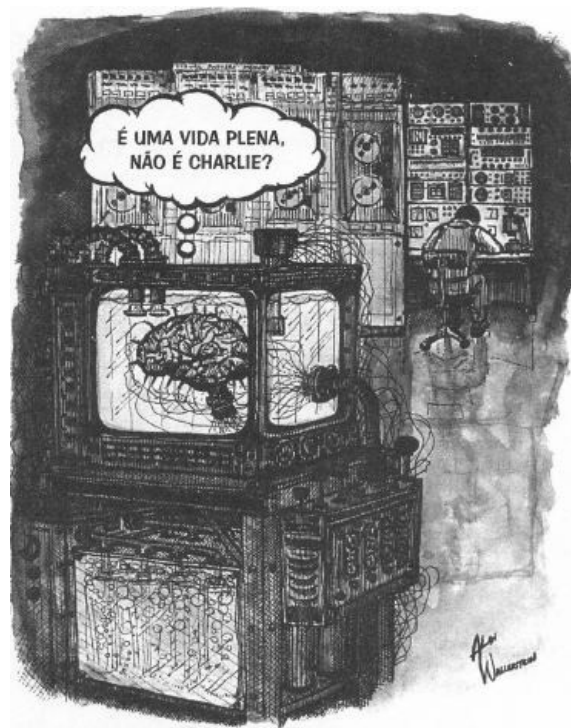
Absoluta.

ACHO QUE VOU ESPERAR A APROVAÇÃO DO FDA.

Ok, então você vai ter que esperar muito tempo.

PENSANDO À FRENTE, AINDA TENHO A SENSACÃO DE QUE ESTAMOS CONDENADOS. QUERO DIZER, EU CONSIGO COMPREENDER COMO UMA MENTE RECÉM-INSTANCIADA, PARA USAR AS SUAS PALAVRAS, FICARÁ FELIZ POR TER SIDO CRIADA E PENSARÁ QUE FOI EU ANTES QUE EU TIVESSE SIDO ESCANEADO E AINDA É EU EM UM CÉREBRO NOVO E RELUZENTE. ELA NÃO TERÁ NADA A LAMENTAR E ESTARÁ “DO OUTRO LADO”. MAS NÃO VEJO COMO EU POSSA ATRAVESSAR A LINHA DIVISÓRIA HUMANO-MÁQUINA. COMO VOCÊ APONTOU, SE EU FOR ESCANEADO, ESSE NOVO EU NÃO SERÁ EU, PORQUE EU AINDA ESTOU AQUI NO MEU VELHO CÉREBRO.

Sim, há um probleminha a esse respeito. Mas tenho certeza de que vamos encontrar um jeito de resolver esse problema espinhoso se pensarmos mais a respeito.



Capítulo Sete

...E CORPOS

A IMPORTÂNCIA DE TER UM CDRPO

Vamos começar dando uma rápida olhada no diário do meu leitor.

AGORA, ESPERE UM INSTANTE.

Algum problema?

PRIMEIRO, EU TENHO UM NOME.

Sim, seria uma ótima ideia apresentar você pelo nome a esta altura.

Eu sou **MOLLY**.

Obrigado. Mais alguma coisa?

SIM. NÃO TENHO CERTEZA SE ESTOU PREPARADA PARA COMPARTILHAR MEU DIÁRIO COM SEUS OUTROS LEITORES.

A maioria dos escritores não deixa os leitores participarem de modo nenhum. De qualquer maneira, você é criação minha, então eu deveria ser capaz de compartilhar sua reflexão pessoal se isto servir a um objetivo aqui.

EU POSSO SER CRIAÇÃO SUA, MAS LEMBRE-SE DO QUE VOCÊ DISSE NO CAPÍTULO 2, A RESPEITO DE AS CRIAÇÕES EVOLUÍREM A PONTO DE SUPERAREM SEUS CRIADORES.

E verdade. Talvez, então, eu deva ser mais sensível às suas necessidades.

BOA IDEIA: VAMOS COMEÇAR PERMITINDO QUE EU VETE ESSAS ENTRADAS QUE VOCÊ ESTÁ SELECIONANDO.

Muito bem. Eis aqui alguns excertos do diário de Molly, adequadamente editados.

Passei a comer agora somente muffins sem gordura. Isto tem dois benefícios claros. O primeiro é que eles têm metade do número de calorias. O segundo é que o gosto deles é horrível. Assim fico menos tentada a comê-los. Mas eu queria que as pessoas parassem de enfiar comida na minha boca... Vou ter problemas nessa festa da faculdade amanhã. Tenho vontade de experimentar tudo, e eu acabo perdendo o controle do que ando comendo.

Preciso perder pelo menos metade de um número de vestido. Se fosse um número inteiro seria melhor. Aí eu poderia respirar com mais facilidade neste vestido novo. O que me faz lembrar que eu deveria dar um pulo na academia no caminho pra casa. Talvez aquele novo *trainer* repare em mim. Na verdade, eu o peguei olhando para mim uma vez, mas eu estava toda desajeitada, usando

aqueles aparelhos novos, e ele desviou o olhar... Não sou louca por essa vizinhança, não me sinto realmente segura ao voltar para o meu carro quando está tarde. Ok, tenho uma ideia: vou pedir àquele *trainer* preciso saber o nome dele que me leve até meu carro. E sempre uma boa ideia para garantir a segurança, certo?

- Estou um pouco nervosa com esse calo no dedão do meu pé. Mas o médico me disse que calos são quase sempre benignos. Mesmo assim, ele quer removê-lo e enviá-lo para um laboratório. Ele disse que eu não vou sentir nada. A não ser, claro, a novocaína: odeio agulhas!

- Foi um pouco estranho ver meu velho namorado, mas fico feliz porque ainda somos amigos. Ele me deu um abraço e isso foi bom...

Obrigado, Molly. Agora pensem o seguinte: quantas das anotações no diário de Molly fariam sentido se ela não tivesse corpo? A maior parte das atividades mentais de Molly são direcionadas para o corpo dela e sua sobrevivência, segurança, nutrição, imagem, para não mencionar questões relacionadas a afeto, sexualidade e reprodução. Mas Molly não é única nesse quesito. Convido meus outros leitores a darem uma olhada em seus próprios diários. E, se você não tem um, pense no que escreveria nele se tivesse. Quantas de suas entradas fariam sentido se você não tivesse um corpo?

Nossos corpos são importantes de muitas maneiras. A maioria das metas sobre as quais falei no começo do capítulo anterior aquelas que tentamos resolver utilizando nossa inteligência tem a ver com nossos corpos: protegê-los, dar combustível a eles, torná-los atraentes, fazê-los se sentir bem, atender aos seus milhões de necessidades, para não mencionar os desejos.

Alguns filósofos - o crítico de inteligência artificial profissional Hubert Dreyfus, por exemplo - sustentam que atingir o nível de inteligência humano é impossível sem um corpo.¹ Certamente, se formos transportar uma mente humana para um novo meio computacional, é melhor providenciarmos um corpo. Uma mente desencorporada iria rapidamente ficar deprimida.

CORPOS DO SÉCULO XXI

O que faz uma alma? E, se máquinas têm almas, qual será o equivalente de drogas psicoativas? Da dor? Do “barato” físico/emocional que tenho quando meu escritório está limpo?

- Esther Dyson

Que estranha máquina é o homem. Você o preenche com pão, vinho,

peixe e nabos, e o que sai são suspiros, risos e sonhos.

- Nikos Kazantzakis

Então, que tipo de corpos forneceremos para nossas máquinas do século XXI? Tarde, a questão será: que espécie de corpos elas fornecerão para si mesmas?

Vamos começar com o corpo humano. É o corpo com o qual estamos acostumados. Ele evoluiu juntamente com seu cérebro, por isso o cérebro humano está bem adaptado para prover suas necessidades. O cérebro e o corpo humano parecem combinar juntos.

O cenário provável é que tanto o corpo quanto o cérebro evoluirão juntos, serão ampliados juntos, migrarão juntos para novas modalidades e materiais. Conforme discuti no capítulo anterior, transportar nossos cérebros para novos mecanismos computacionais é uma coisa que não acontecerá de uma vez. Nós ampliaremos nossos cérebros gradualmente, por intermédio de conexão direta com a inteligência de máquina por tempo suficiente para que a essência de nosso pensamento tenha migrado completamente para a nova maquinaria, bem mais capaz e confiável. Novamente, se achamos esse conceito perturbador, muito desse incômodo tem a ver com nosso conceito da palavra *máquina*. Tenha em mente que nosso conceito dessa palavra evoluirá juntamente com nossas mentes.

Em termos de transformar nossos corpos, nós já estamos mais adiantados nesse processo do que em avançar nossas mentes. Possuímos dispositivos de titânio para substituir nossos maxilares, crânios e quadris. Temos diversos tipos de pele artificial. Temos válvulas cardíacas artificiais. Temos vasos sintéticos para substituir artérias e veias, juntamente com desvios expansíveis para fornecer suporte estrutural para vasos naturais fracos. Temos braços, pernas, pés e implantes de coluna vertebral. Temos todo tipo de articulação: maxilares, quadris, ombros, cotovelos, pulsos, dedos das mãos e dos pés. Temos implantes para controlar nossas bexigas. Estamos desenvolvendo máquinas umas feitas de materiais artificiais, outras combinando novos materiais com células criadas em culturas que serão capazes de substituir órgãos como o fígado e o pâncreas. Temos próteses penianas com bombinhas para simular ereções. E há muito tempo já temos implantes de dentes e de mamas.

Naturalmente, o conceito de reconstrução total de nossos corpos com materiais sintéticos, mesmo que superior de certas maneiras, não é imediatamente atraente. Nós gostamos da suavidade de nossos corpos. Gostamos que os corpos sejam macios, suaves e quentinhos. E não um calor superficial, mas o calor profundo e íntimo retirado de seus trilhões de células vivas.

Então vamos pensar em ampliar nossos corpos célula a célula. Também aqui

já começamos a seguir por essa estrada. Nós escrevemos uma porção de todo o código genético que descreve nossas células, e iniciamos o processo de compreendê-lo. No futuro próximo, esperamos projetar terapias genéticas para aprimorar nossas células, para corrigir defeitos como a resistência de insulina associada ao diabetes tipo II e à perda de controle sobre a auto-replicação associada ao câncer. Um método antigo de realizar terapias genéticas era infectar um paciente com vírus especiais que contivessem o DNA corretivo. Um método mais eficiente desenvolvido pelo dr. Clifford Steer, da Universidade de Minnesota, utiliza moléculas de **RNA** para entregar o DNA desejado diretamente.² Um dos primeiros itens da lista dos pesquisadores para futuros desenvolvimentos celulares por intermédio da Engenharia genética é contra-atacar nossos genes para evitar o suicídio celular. Esses fios de contas genéticas, chamados de telômeros, vão encurtando cada vez que uma célula se divide. Quando as contas do telômero chegam a zero, uma célula passa a não ser mais capaz de se dividir, e se destrói.

Existe uma longa lista de doenças, condições de envelhecimento e limitações que pretendemos tratar, alterando o código genético que controla nossas células.

Mas não podemos ir muito longe com essa abordagem. Nossas células baseadas em DNA dependem da síntese de proteínas, e embora a proteína seja uma substância maravilhosamente diversa, ela sofre de graves limitações. Hans Moravec, um dos primeiros pensadores sérios a perceber o potencial das máquinas do século XXI, ressalta que “proteína não é um material ideal. Ela é estável somente em uma faixa estreita de temperatura e pressão, é muito sensível à radiação, e exclui muitas técnicas e componentes de construção... Um superhumano criado por Engenharia genética seria apenas uma espécie de robô de segunda categoria, projetado com a desvantagem de que sua construção só pode ser pela síntese de proteína guiada pelo DNA. Apenas aos olhos de chauvinistas humanos isso seria vantajoso.”³

Uma das ideias da evolução que vale a pena manter, no entanto, é construir nossos corpos a partir de células. Essa abordagem conservaria muitas das qualidades benéficas de nossos corpos: redundância, que fornece um alto grau de confiabilidade; a capacidade de regenerar e se consertar; e suavidade e calor. Mas, assim como um dia abriremos mão da velocidade extremamente lenta de nossos neurônios, um dia seremos forçados a abandonar as outras restrições de nossa química baseada em proteínas. Para reinventar nossas células, olhamos para uma das tecnologias primárias do século XXI: a *nanotecnologia*.

NANOTECNOLOGIA: RECONSTRUINDO O MUNDO, ÁTOMO POR ÁTOMO

Os problemas da química e da biologia podem ser grandemente solucionados se... a criação de coisas em nível atômico for desenvolvida... uma evolução que acho que não pode ser evitada.

- Richard Feynman, 1959

Suponha que alguém afirmasse possuir uma réplica microscopicamente exata (em mármore mesmo) do David, de Michelangelo, em casa. Quando você vai lá ver essa maravilha, você encontra um bloco de mármore branco puro de sete metros de altura na sala de estar. “Ainda não desembulhei”, ele diz. “Mas eu sei que está aí dentro”.

- Douglas Hofstadter

Que vantagens as nanotorradeiras terão sobre a tecnologia de torradeiras macroscópica convencional? Primeiro, a economia de espaço no balcão será substancial. Uma questão filosófica que não deve ser posta de lado é que a criação da menor torradeira do mundo implica a existência da menor fatia de pão do mundo. No limite quântico, precisamos necessariamente encontrar partículas fundamentais de torrada, que designamos aqui como croutons.

- Jim Cser, Annals of Improbable Research, editado por Marc Abrahams

As primeiras ferramentas da humanidade foram objetos encontrados: gravetos utilizados para escavar raízes e pedras usadas para quebrar nozes. Nossos ancestrais levaram dezenas de milhares de anos para inventar uma lâmina afiada. Hoje, construímos máquinas com mecanismos intrincados finamente projetados, mas, vistos em uma escala atômica, nossa tecnologia ainda está crua. “Fazer moldes, moer, processar e até mesmo a litografia movem átomos em grandes manadas estatísticas”, disse Ralph Merkle, um dos principais teóricos de nanotecnologia no Centro de Pesquisas da Xerox, em Paio Alto. Ele acrescenta que os atuais métodos de fabricação são “como tentar construir coisas a partir de pecinhas de Lego com luvas de boxe... No futuro, a nanotecnologia permitirá que tiremos as luvas de boxe.”⁴

A nanotecnologia é a tecnologia construída no nível atômico: construir máquinas um átomo de cada vez. “Nano” significa um bilionésimo de metro, que é a largura de cinco átomos de carbono. Temos uma prova da existência da viabilidade da nanotecnologia: a vida na Terra. Pequenas máquinas em nossas

células chamadas ribossomos construíram organismos como os humanos, uma molécula, ou seja, um aminoácido, por vez, seguindo modelos digitais codificados em outra molécula chamada DNA. A vida na Terra dominou o objetivo definitivo da nanotecnologia, que é a auto-replicação.

Mas, conforme mencionado acima, a vida na Terra é limitada pelo tijolo molecular particular que selecionou. Assim como nossa tecnologia computacional criada pelos humanos acabará excedendo a capacidade da computação natural (circuitos eletrônicos já são milhões de vezes mais rápidos que os circuitos neurais humanos), nossa tecnologia física do século XXI também excederá enormemente as capacidades da nanotecnologia baseada em aminoácidos do mundo natural.

O conceito de construir máquinas átomo por átomo foi descrito pela primeira vez em uma palestra na Cal Tech, em 1959, intitulada “Existe Muito Espaço no Fundo”, do físico Richard Feynman, o mesmo sujeito que sugeriu pela primeira vez a possibilidade de computação quântica.⁵ A ideia foi desenvolvida com um certo nível de detalhamento por Eric Drexler 20 anos depois em seu livro *Engines of creation*.⁶ O livro, na verdade, inspirou o movimento pela criogenia da década de 1980, no qual as pessoas tinham suas cabeças (com ou sem os corpos) congeladas na esperança de que um tempo futuro viesse a possuir a tecnologia em escala molecular para superar suas doenças mortais, bem como desfazer os efeitos do congelamento e do descongelamento. Se uma geração futura teria motivação para reviver todos esses cérebros congelados era outro problema.

Após a publicação de *Engines of creation*, a resposta às ideias de Drexler foi cética, e ele teve dificuldades em conseguir sua banca de doutoramento pelo MIT, apesar de Marvin Minsky ter concordado em supervisioná-lo. A dissertação de Drexler, publicada em 1992 como um livro intitulado *Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation*, oferecia uma prova abrangente do conceito, incluindo análises detalhadas e projetos específicos.⁷ Um ano depois, a primeira conferência sobre nanotecnologia atraiu apenas algumas dezenas de pesquisadores. A quinta conferência anual, realizada em dezembro de 1997, ostentou 350 cientistas que estavam bem mais confiantes quanto à viabilização prática de seus minúsculos projetos. A Nanothinc, um centro de pesquisas da indústria, estimava, em 1997, que a área já produz 5 bilhões de dólares de receita anual para tecnologias relacionadas à nanotecnologia, incluindo micromáquinas, técnicas de microfabricação, nanolitografia, microscópios em nanoescala e outros. Essa cifra tem mais do que dobrado a cada ano que passa.⁸

A era dos nanotubos

Um material de construção fundamental para máquinas minúsculas são, mais uma vez, nanotubos. Embora construídos em uma escala atômica, os padrões hexagonais de átomos de carbono são extremamente fortes e duráveis. “Você pode fazer tudo o que bem quiser com esses tubos e eles continuam funcionando”, disse Richard Smalley, um dos químicos que receberam o Prêmio Nobel pela descoberta da molécula buckyball.⁹ Um carro feito de nanotubos seria mais forte e mais estável do que um carro feito de aço, mas pesaria apenas cem quilos. Uma espaçonave feita de nanotubos poderia ter o tamanho e a potência do ônibus espacial dos EUA, mas não pesaria mais do que um carro convencional. Nanotubos lidam extremamente bem com o calor, bem melhor do que os frágeis aminoácidos com os quais as pessoas são construídas. Eles podem ser reunidos em todos os tipos de formas: fios para cabos, vergalhões rígidos, engrenagens *etc.* Nanotubos são formados por átomos de carbono, que existem em abundância no mundo natural.

Como mencionei antes, os mesmos nanotubos podem ser usados para uma computação extremamente eficiente, por isso tanto a tecnologia estrutural quanto a computacional do século XXI serão provavelmente construídas a partir do mesmo material. Na verdade, os mesmos nanotubos utilizados para formar estruturas físicas também poderão ser usados para computação, de modo que futuras nano máquinas poderão ter seus cérebros distribuídos ao longo de seus corpos.

Os exemplos mais conhecidos de nanotecnologia até o momento, embora não sejam completamente práticos, estão começando a mostrar a viabilidade de Engenharia em nível atômico. A IBM criou seu logo empresarial utilizando átomos individuais como pixels.¹⁰ Em 1996, a Texas Instruments construiu um dispositivo do tamanho de um chip com meio milhão de espelhos móveis para ser utilizado em um minúsculo projetor de alta resolução.¹¹ A TI vendeu o equivalente a 100 milhões de dólares de seus nanoespelhos em 1997.

Chih-Ming Ho, da UCLA, está projetando máquinas voadoras que utilizam superfícies cobertas com microflaps que controlam o fluxo de ar de forma semelhante aos flaps convencionais de um avião normal.¹² Andrew Berlin, do Centro de Pesquisas da Xerox, em Paio Alto, está projetando uma impressora utilizando válvulas de ar microscópicas para movimentar documentos de papel com precisão.¹³

O aluno formado em Cornell e músico de rock Dustin Carr construiu uma guitarra de aspecto realístico, porém microscópico, com cordas de apenas 50

nanômetros de diâmetro. A criação de Carr é um instrumento musical que funciona perfeitamente, mas seus dedos são grandes demais para tocá-lo. Além do mais, as cordas vibram a 10 milhões de vibrações por segundo, muito além do limite de 20 mil ciclos por segundo da audição humana.¹⁴

O Santo Graal da auto-replicação: dedinhos e um pouquinho de inteligência

Dedos minúsculos representam uma espécie de “santo graal” para nanotecnólogos. Com dedos pequenos e computação, as nanomáquinas teriam em seu mundo liliputiano o que as pessoas possuem no mundo grande: inteligência e a capacidade de manipular seu ambiente. Então, essas maquininhas poderiam construir réplicas de si mesmas, atingindo o objetivo principal da área.

A razão pela qual a auto-replicação é importante é que é caro demais construir essas maquininhas uma de cada vez. Para serem eficientes, máquinas do tamanho de nanômetros precisam estar reunidas em trilhões. A única maneira de atingir isso economicamente é por intermédio da explosão combinatória: deixe as máquinas construírem a si mesmas.

Drexler, Merkle (um co-inventor da encriptação de chave pública, o método primário de codificação de mensagens) e outros têm descrito de modo convincente como um nanorrobô auto-replicante – nanobô - poderia ser construído. O truque é fornecer ao nanobô manipuladores suficientemente flexíveis braços e mãos para que ele seja capaz de construir uma cópia de si mesmo. Ele precisa de um meio de mobilidade para que possa encontrar a matéria-prima requisitada. Requer alguma inteligência, para que possa solucionar os pequenos problemas que irão surgir quando cada nanobô sair construindo uma maquininha complicada igual a si próprio. *Por último, uma exigência realmente importante é que ela precisa saber a hora de parar de replicar.*

Morphing no mundo real

Máquinas auto-replicas construídas no nível atômico poderiam realmente transformar o mundo em que vivemos. Elas poderiam construir células solares extremamente baratas, permitindo a substituição de combustíveis fósseis sujos. Como as células solares exigem uma grande área de superfície para coletar luz do sol suficiente, elas poderiam ser colocadas em órbita, com a energia projetada

direto para a Terra.

Nanobôs lançados em nossas correntes sanguíneas poderiam complementar nosso sistema imunológico natural e buscar e destruir patógenos, células cancerosas, placas arteriais e outros agentes de doenças. Na visão que inspirou os entusiastas da criogenia, os órgãos doentes podem ser reconstruídos. Seremos capazes de reconstruir qualquer um ou todos os nossos órgãos e sistemas doentes, e fazer isso no nível celular. No último capítulo, falei sobre Engenharia reversa e emulação da funcionalidade computacional dos neurônios humanos. Da mesma maneira, será possível reverter a Engenharia e replicar a funcionalidade física e química de qualquer célula humana. No processo, estaremos em posição de estender enormemente a durabilidade, a força, a faixa de temperatura e outras qualidades e capacidades de nossos tijolos celulares.

Então seremos capazes de criar órgãos mais fortes e mais capazes, reprojetoando as células que os constituem e construí-los com materiais bem mais versáteis e duráveis. A medida que avançamos por essa estrada, vamos descobrir que um certo nível de reprojeto do corpo humano faz sentido em múltiplos níveis. Por exemplo, se nossas células não são mais vulneráveis aos patógenos convencionais, podemos não precisar do mesmo tipo de sistema imunológico. Mas precisaremos de novas proteções de nanoEngenharia para um novo sortimento de nanopatógenos.

Comida, roupas, anéis de diamante, prédios, tudo isso pode montar a si mesmo molécula por molécula. Qualquer tipo de produto poderia ser criado instantaneamente quando e onde precisarmos. De fato, o mundo poderia continuamente se remontar para atender às nossas mudanças de necessidades, desejos e fantasias. No final do século XXI, a nanotecnologia permitirá que objetos como móveis, prédios, roupas, até mesmo pessoas, mudem sua aparência e outras características essencialmente para mudar para alguma outra coisa em uma fração de segundo.

Essas tecnologias irão emergir gradualmente (tentarei delinear as diferentes gradações da nanotecnologia quando falar sobre cada uma das décadas do século XXI na Parte III deste livro). Existe um claro incentivo a seguir por este caminho. Se pudessem escolher, as pessoas iriam preferir evitar que seus ossos virassem pó, a pele murchasse, e manter os sistemas vitais fortes e vitais. Aperfeiçoar as nossas vidas por intermédio de implantes neurais no nível mental e corpos aprimorados pela nanotecnologia no nível físico serão coisas populares e atraentes. E outra daquelas situações delicadas não há lugar óbvio para deter essa progressão até que a raça humana tenha em grande parte substituído os cérebros e os corpos que a evolução nos forneceu em primeiro lugar.

Perigo claro e futuro

Sem a auto-replicação, a nanotecnologia não é prática nem economicamente viável. E aí é que está o problema. O que acontece se um pequeno problema de software (inadvertidamente ou não) não conseguir deter a auto-replicação? Podemos ter mais nanobôs do que queremos. Eles poderiam comer tudo o que estivesse à vista.

O filme *A bolha* (existem duas versões) era uma visão do que acontece quando a nanotecnologia dá errado. O vilão do filme era uma coisa auto-replicante inteligente e fominha, que se alimentava de matéria orgânica. Lembre-se de que a nanotecnologia provavelmente será construída a partir de nanotubos com base em carbono, então, assim como a bolha, se construirá a partir de matéria orgânica, que é rica em carbono. Ao contrário de meros cânceres com base animal, uma explosão demográfica exponencial de nanomáquinas se alimentaria de qualquer matéria com base em carbono. Rastrear todas essas nanointeligências do mal seria como tentar encontrar trilhões de agulhas microscópicas e que se movessem rapidamente em, no mínimo, a mesma quantidade de palheiros. Já surgiram propostas para tecnologias de imunidade em escala nano; maquininhas anticorpos boazinhas que iriam atrás das maquininhas más. Os nanoanticorpos, claro, teriam de ter a mesma escala pelo menos tão rápida quanto a epidemia dos nanomonstros nômades. Poderiam existir muitos danos colaterais durante a batalha entre esses trilhões de máquinas.

Agora que levantei esse fantasma, vou tentar, talvez de modo não muito convincente, colocar o perigo em perspectiva. Acredito que será possível engendrar nanobôs auto-replicantes de forma tal que uma explosão populacional *inadvertida* e indesejada seria improvável. Percebo que isso pode não ser completamente reconfortante, vindo de um desenvolvedor de software cujos produtos (assim como os de meus concorrentes) dão pau de vez em quando (mas raramente e, quando o fazem, é culpa do sistema operacional!). Existe um conceito em desenvolvimento de software chamado de aplicativos de “missão crítica”. Existem programas de software que controlam um processo do qual as pessoas são enormemente dependentes. Exemplos de software de missão crítica incluem sistemas de suporte de vida em hospitais, equipamento cirúrgico automatizado, sistemas de decolagem e pouso por piloto automático, e outros sistemas baseados em software que afetam o bem-estar de uma pessoa ou organização. É viável criar níveis extremamente altos de confiabilidade nesses programas. Existem exemplos de tecnologia complexa em uso hoje, onde um erro poderia colocar a segurança pública em sério risco. Uma explosão

convencional em uma usina nuclear poderia espalhar plutônio mortal por áreas densamente povoadas. Apesar de um quase fusão do reator em Chernobyl, isso aparentemente só ocorreu duas vezes nas décadas em que temos tido centenas de usinas desse tipo operando, e ambos os incidentes envolvendo calamidades com reatores recentemente divulgadas na região russa de Cheliabinsk.¹⁵ Existem dezenas de milhares de armas nucleares, e nenhuma jamais explodiu em erro.

Admito que o parágrafo anterior não convence inteiramente. Mas o maior perigo é o uso hostil intencional da nanotecnologia. Assim que a tecnologia básica estiver disponível, não seria difícil adaptá-la como um instrumento de guerra ou de terrorismo. Ninguém tem necessariamente de ser suicida para usar esse tipo de arma. As nanoarmas poderiam facilmente ser programadas para se replicar somente contra um inimigo; por exemplo, apenas em uma área geográfica em particular. Armas nucleares, apesar de todo o seu potencial destrutivo, são pelo menos relativamente locais em seus efeitos. A natureza auto replicante da nanotecnologia a torna um perigo bem maior.

CORPOS VIRTUAIS

Nem sempre precisamos de corpos reais. Se, por acaso, estivermos em um ambiente virtual, então um corpo virtual servirá muito bem. A realidade virtual começou com o conceito de jogos de computador, em particular os que forneciam um ambiente simulado. O primeiro foi *Space War*, escrito por pioneiros da pesquisa de inteligência artificial para passar o tempo enquanto aguardavam a compilação de programas em seus lentos computadores dos anos 1960.¹⁶ O ambiente espacial sintético era fácil de renderizar em monitores de baixa resolução: estrelas e outros objetos espaciais eram apenas pixels iluminados.

Jogos de computador e videogames computadorizados se tornaram mais realistas com o tempo, mas você não consegue imergir completamente nesses mundos imaginários, nem com certa dose de imaginação. Para começar, você pode ver as bordas da tela, e o mundo real demais que você nunca deixou de lado ainda é visível além dessas bordas.

Se vamos entrar num mundo novo, é melhor nos livrarmos de vestígios do antigo. Nos anos 1990, a primeira geração de realidade virtual foi introduzida, na qual você colocava um capacete especial que invadia todo o seu campo visual. A chave para a realidade virtual é que, quando você move a cabeça, a cena instantaneamente se reposiciona, de modo que o que você está olhando agora é uma região diferente de uma cena tridimensional. A intenção é simular o que

acontece quando você vira sua cabeça de verdade no mundo real: as imagens capturadas por suas retinas mudam rapidamente. Seu cérebro, mesmo assim, compreende que o mundo permaneceu estacionário e que a imagem está deslizando ao longo de suas retinas apenas porque sua cabeça está fazendo uma rotação.

Assim como as tecnologias de primeira geração, a realidade virtual não foi inteiramente convincente. Como renderizar uma cena nova exige muita computação, existe um atraso na produção da nova perspectiva. Qualquer atraso que possa ser notado avisa seu cérebro de que o mundo para o qual você está olhando não é inteiramente real. A resolução dos displays de realidade virtual também não é adequada para criar uma ilusão completamente satisfatória. Por último, os capacetes de realidade virtual atuais são volumosos e desconfortáveis.

O que é necessário para remover o atraso na renderização e aprimorar a resolução dos displays são computadores ainda mais rápidos, o que, sabemos, é sempre um fator que atrapalha. Por volta de 2007, a realidade virtual de alta qualidade com ambientes artificiais convincentes, renderização praticamente instantânea e displays de alta definição será confortável de vestir e estará disponível a preços de jogos de computador.

Isso cuida de dois de nossos sentidos: o visual e o auditivo. Outro órgão dos sentidos de alta resolução é a nossa pele, e interfaces “hápticas” para oferecer uma interface tátil virtual também estão evoluindo. Uma que já existe hoje é o joystick de force-feedback, da Microsoft, derivado da pesquisa que o Media Lab do MIT realizou nos anos 1980. Um joystick de force-feedback adiciona um pouco de realismo tátil aos jogos de computador, para que você sinta os solavancos na estrada em um jogo de corrida de carros ou um puxão na linha em uma simulação de pesca. No final de 1998, surgiu o “mouse tátil”, que funciona como um mouse convencional, mas permite que o usuário sinta a textura de superfícies, objetos e, até mesmo, de pessoas. Uma empresa com a qual estou envolvido, a Medica Learning Company, está desenvolvendo um paciente simulado para ajudar a treinar médicos, assim como permitir que não-médicos brinquem de médico. Ele incluirá uma interface háptica para que você possa sentir uma fratura numa articulação de joelho ou caroços num seio.¹⁷

Um joystick de force-feedback no domínio tátil é comparável a monitores convencionais no domínio visual. O joystick de force-feedback oferece uma interface tátil, mas não envolve você inteiramente. O resto de seu mundo tátil ainda está lembrando você da presença dele. Para abandonar o mundo real, pelo menos temporariamente, precisamos de um ambiente tátil que tome conta de seu sentido do tato.

Então, vamos inventar um ambiente tátil virtual. Já vimos aspectos disso em

filmes de ficção científica (sempre uma boa fonte para inventar o futuro). Podemos construir um traje corporal que detectará seus próprios movimentos, e também fornecerá estímulos tácticos de alta resolução. O traje também precisará fornecer force-feedback suficiente para de fato impedir seus movimentos se você estiver fazendo pressão sobre um obstáculo virtual no ambiente virtual. Se você estiver dando um abraço em um companheiro virtual, por exemplo, você não quer passar através do corpo dele. Isto irá exigir uma estrutura de force-feedback fora do traje, embora a resistência a obstáculos possa ser providenciada pelo próprio traje. E como o seu corpo dentro do traje ainda está no mundo real, faria sentido colocar toda essa estrutura em uma cabine para que seus movimentos no mundo virtual não derrubem abajures e pessoas na sua vizinhança “real”. Um traje desses poderia também fornecer uma reação térmica e, portanto, permitir a simulação de sentir uma superfície úmida ou até mesmo de imergir sua mão ou seu corpo inteiro na água o que é indicado por uma mudança na temperatura e uma diminuição na tensão superficial. Por último, podemos providenciar uma plataforma consistindo em um dispositivo de esteira móvel para que você possa ficar em pé (ou se sentar, ou deitar), que permitirá que você caminhe ou se mova (em qualquer direção) em seu ambiente virtual.

Então, com o traje, a estrutura externa, a cabine, a plataforma, os óculos e os fones de ouvidos, você acaba de ter o meio de englobar totalmente seus sentidos. Naturalmente, iremos precisar de um excelente software de realidade virtual, mas certamente haverá uma grande concorrência para oferecer um imenso leque de novos ambientes realistas e fantásticos quando o hardware necessário surgir.

Ah, sim, temos também o sentido do olfato. Uma interface completamente viável e geral para nosso quarto sentido exigirá uma nanotecnologia razoavelmente avançada para sintetizar a ampla variedade de moléculas que podemos detectar com nosso sentido olfativo. Enquanto isso, poderíamos providenciar a capacidade de difundir uma série de aromas na cabine de realidade virtual.

Assim que estivermos num ambiente de realidade virtual, nossos próprios corpos pelo menos as versões virtuais deles também poderão mudar. Poderemos nos tornar uma versão mais atraente de nós mesmos, um monstro pavoroso, ou qualquer criatura real ou imaginária à medida que interagirmos com os outros habitantes de cada mundo virtual no qual entrarmos.

A realidade virtual não é um lugar (virtual) no qual você necessita entrar sozinho. Você pode interagir com seus amigos ali (que estariam em outras cabines de realidade virtual, que podem estar distantes umas das outras geograficamente). E você também terá muitos companheiros simulados para escolher.

Conexão direta

No final do século XXI, quando as tecnologias de implantes neurais se tornarem ubíquas, seremos capazes de criar e interagir com ambientes virtuais sem precisar entrar em uma cabine de realidade virtual. Seus implantes neurais fornecerão os inputs sensoriais simulados do ambiente virtual e seu corpo virtual diretamente em seu cérebro. Além disso, seus movimentos não moverão seu corpo “real”, mas seu corpo virtual percebido. Esses ambientes virtuais também incluiriam uma seleção adequada de corpos para você. Em última análise, sua Experiência seria altamente realista, assim como estar no mundo real. Mais de uma pessoa poderia entrar em um ambiente virtual e interagir uns com os outros. No mundo virtual, você conhecerá outras pessoas reais e pessoas simuladas no fim das contas, não haverá muita diferença.

Esta será a essência da Web na segunda metade do século XXI. Um website típico será um ambiente virtual percebido, sem necessidade de hardware externo. Você “vai até lá”, selecionando mentalmente o site e, em seguida, entrando nesse mundo. Debata com Benjamin Franklin os poderes de guerra da presidência no site da sociedade histórica. Esquie nos Alpes no site da Câmara Suíça de Comércio (e sinta o frescor do vento gelado no seu rosto). Abrace seu astro favorito do cinema no site da Columbia Pictures. Consiga um pouquinho mais de intimidade no site da *Penthouse* ou da *Playgirl*. Naturalmente, poderá haver uma pequena taxa para isso.

A realidade virtual real

No final do século XXI, o mundo “real” assumirá muitas das características do mundo virtual por intermédio de “enxames” nanotecnológicos. Considere, por exemplo, o conceito de “Utility Fog”¹⁸ criado pelo cientista de computação J. Storrs Hall, da Rutgers University. A concepção de Hall começa com um robzinho chamado Foglet, que consiste em um dispositivo do tamanho de uma célula humana com 12 braços apontando para todas as direções. Na ponta de cada braço existe uma pinça, para que os Foglets possam segurar uns aos outros a fim de formar estruturas maiores. Esses nanobôs são inteligentes e podem fundir suas capacidades computacionais uns com os outros para criar uma inteligência distribuída. Um espaço preenchido com Foglets é chamado de Utility Fog (Numa tradução literal, “Neblina de Utilidades”. - N. do T.), e tem algumas propriedades interessantes.

Primeiro de tudo, o Utility Fog tem muito trabalho para simular sua ausência no ambiente. Hall descreve um cenário detalhado que permite que um humano real caminhe por um aposento repleto com trilhões de Foglets e não note uma coisa sequer. Quando desejado (e não está inteiramente claro quem é que deseja), os Foglets podem rapidamente simular qualquer ambiente, criando toda espécie de estrutura. Nas palavras de Hall, “a cidade Fog pode parecer um parque, uma floresta, Roma antiga num dia e a Cidade Esmeralda do Mágico de Oz no dia seguinte”.

Os Foglets podem criar frentes de onda arbitrárias de luz e som em qualquer direção para criar qualquer ambiente visual e auditivo imaginário. Dessa maneira, o Utility Fog tem toda a flexibilidade de um ambiente virtual, a não ser pelo fato de que existe no mundo físico real. A inteligência distribuída do Utility Fog pode simular as mentes de pessoas escaneadas (Hall as chama de “carregadas” [uploaded]), que são recriadas no Utility Fog como “pessoas de Fog”. No cenário de Hall, “um humano biológico pode caminhar através de paredes de Fog, e um humano (uploaded) de Fog pode atravessar paredes de matéria burra. Claro que as pessoas de Fog também podem atravessar paredes de Fog.”

A tecnologia física do Utility Fog, na verdade, é bastante conservadora. Os Foglets são máquinas muito maiores do que a maioria das concepções de nanotecnologia. O software é mais desafiador, mas é viável. Hall precisa de um pouco de trabalho no lado do marketing: Utility Fog é um nome muito bobo para uma coisa tão versátil.

Existe uma série de propostas para enxames nanotecnológicos, nos quais o ambiente real é construído a partir de multidões de nanomáquinas que interagem umas com as outras. Em todas as concepções de enxame, a realidade física se torna muito parecida com a realidade virtual. Você pode estar dormindo na sua cama num momento, e fazer com que o quarto se transforme em sua cozinha quando acordar. Na verdade, mude isso para uma sala de jantar, pois não há necessidade de cozinha. A nanotecnologia relacionada criará instantaneamente qualquer refeição que você desejar. Quando terminar de comer, o quarto poderá se transformar num estúdio, ou num salão de jogos, ou numa piscina, ou numa floresta de cedros, ou no Taj Mahal. Você entendeu a ideia.

Mark Yim construiu um modelo em grande escala de um pequeno enxame, demonstrando a viabilidade da interação de enxame.¹⁹ Joseph Michael chegou a receber uma patente inglesa de sua concepção de um enxame nanotecnológico, mas não é provável que seu design seja comercialmente realizável na vida de 20 anos de sua patente.²⁰

Pode parecer que teremos escolhas até demais. Eloje, temos apenas para

escolher nossas roupas, maquiagem e o lugar para onde vamos quando saímos. No final do século XXI, teremos de selecionar nosso corpo, nossa personalidade, nosso ambiente... tantas decisões difíceis a tomar! Mas, não se preocupe: teremos enxames inteligentes de máquinas para nos orientarem.

A MÁQUINA SENSUAL

Redobrado pelo desejo

Ele soa os gemidos de uma mulher.

Um fragmento de sua carne.

- **Do poema de Barry Spacks, *The Solitary as Seventeen***

Eu posso prever o futuro supondo que o dinheiro e os hormônios masculinos são as forças motrizes para a nova tecnologia. Logo, quando a realidade virtual ficar mais barata que marcar um encontro de verdade, a sociedade estará condenada.

- **Dogbert**

O primeiro livro impresso com uma prensa móvel pode ter sido a Bíblia, mas o século seguinte à invenção épica de Gutenberg viu um mercado lucrativo para livros com assuntos mais picantes.²¹ Novas tecnologias de comunicação o telefone, o cinema, a televisão, o videoteipe sempre adotaram temas sexuais bastante cedo. A Internet não é exceção, com estimativas de mercado de 1998 de entretenimento adulto on-line variando de 185 milhões de dólares, pela Forrester Research, até 1 bilhão de dólares, pela Inter@ctive Week. Essas cifras são para clientes, em sua maioria homens, pagando para ver e interagir com profissionais ao vivo, gravados e simulados. Uma estimativa de 1998 citou 28 mil websites que oferecem entretenimento sexual.²² Essas cifras não incluem casais que expandiram sua oferta de sexo por telefone para incluir filmes via *conferencing* de vídeo on-line.

CD-ROMs e DVDs constituem outra tecnologia que tem sido explorada para entretenimento erótico. Embora a maioria dos discos de conteúdo adulto seja utilizada como meio de entregar vídeos com um pouco de interatividade jogada de qualquer maneira, um novo gênero de **CD-ROM** e DVD oferece companheiros sexuais que respondem a algumas carícias administradas pelo mouse.²³ Assim como a maioria das tecnologias de primeira geração, o efeito não é nada convincente, mas as gerações futuras eliminarão alguns dos problemas, embora não toda a safadeza. Os desenvolvedores também estão

trabalhando para explorar o mouse de force-feedback, para que você possa obter alguma sensação de seu parceiro virtual.

No final da primeira década do século XXI, a realidade virtual permitirá que você esteja com seu amante parceiro romântico, profissional do sexo ou companheiro simulado com realismo visual e auditivo completo. Você será capaz de fazer qualquer coisa que quiser com seu companheiro, exceto tocá-lo, o que, infelizmente, é uma limitação importante.

O toque virtual já foi introduzido, mas o ambiente virtual visual-auditivo tátil totalmente abrangente e altamente realista não será aperfeiçoado até a segunda década do século XXI. Nesse momento, o sexo virtual se tornará um concorrente viável da coisa real. Casais serão capazes de fazer sexo virtual independentemente de sua proximidade física. Até mesmo quando houver proximidade, o sexo virtual será melhor em algumas coisas e certamente mais seguro. O sexo virtual oferecerá sensações mais intensas e agradáveis do que o sexo convencional, assim como Experiências físicas que atualmente não existem. O sexo virtual também é o máximo do sexo seguro, pois não existe risco de gravidez ou transmissão de doenças.

Hoje, amantes podem fantasiar que seus parceiros sejam outras pessoas, mas os usuários de comunicação de sexo virtual não vão precisar de tanta imaginação assim. Você será capaz de modificar a aparência física e outras características tanto de você mesmo quanto de seu parceiro. Você poderá fazer seu amante ter o aspecto de sua estrela de cinema favorita sem a permissão ou o conhecimento de seu parceiro. Naturalmente, esteja ciente de que seu parceiro poderá estar fazendo o mesmo com você.

O sexo grupai ganhará um novo significado, no fato de que mais de uma pessoa poderá compartilhar simultaneamente a Experiência de um parceiro. Como várias pessoas reais não podem todas controlar os movimentos de um parceiro virtual, precisa existir um jeito de compartilhar a tomada de decisões do que um corpo virtual está fazendo. Cada participante que compartilha um corpo virtual teria a mesma Experiência visual, auditiva e tátil, com o controle compartilhado de seu corpo virtual compartilhado (talvez o corpo virtual reflita um consenso dos movimentos tentados dos vários participantes). Toda uma audiência de pessoas que poderão estar geograficamente dispersas poderia compartilhar um corpo virtual enquanto estiverem participando de uma Experiência sexual com um profissional.

A prostituição estará livre de riscos de saúde, assim como o sexo virtual em geral. Usando tecnologias de comunicação wireless e de largura de banda muito alta, nenhum profissional do sexo nem seus clientes precisarão deixar suas casas. A prostituição virtual provavelmente será tolerada legalmente, no mínimo bem

mais do que a prostituição real é hoje, pois a variedade virtual será impossível de monitorar ou controlar. Com os riscos de doença e violência eliminados, haverá bem menos razões para proscrevê-la.

Profissionais do sexo enfrentarão concorrência de parceiros simulados gerados por computador. Nos primeiros estágios, parceiros virtuais humanos “reais” provavelmente serão mais realistas do que parceiros virtuais simulados, mas isso irá mudar com o tempo. Claro que, assim que o parceiro virtual simulado for tão capaz, sensual e estimulante quanto um parceiro virtual humano real, quem irá dizer que o parceiro virtual simulado não é uma pessoa real, ainda que virtual?

Será que o estupro virtual é possível? No sentido puramente físico, provavelmente não. A realidade virtual terá um meio para os usuários interromperem sua Experiência imediatamente. Já os meios de persuasão e pressão emocionais são outra história.

Como uma faixa tão extensa de opções e oportunidades sexuais afetará a instituição do casamento e o conceito de compromisso num relacionamento? A tecnologia do sexo virtual introduzirá uma série de situações delicadas, e a definição de um relacionamento monogâmico se tornará cada vez menos clara. Algumas pessoas sentirão que o acesso a Experiências sexuais intensas ao clique de um botão mental destruirá o conceito de um relacionamento comprometido sexualmente. Outros discordarão, como proponentes de entretenimento sexual e serviços fazem hoje, que esse tipo de diversão é uma válvula de escape saudável e que serve para manter relacionamentos saudáveis. Obviamente, os casais precisarão chegar a seus próprios acordos, mas traçar linhas claras é algo que vai se tornar difícil com o nível de privacidade que essa tecnologia futura oferecerá. E provável que a sociedade venha a aceitar práticas e atividades na arena virtual que rejeite no mundo físico, pois as consequências das atividades virtuais são frequentemente (embora nem sempre) fáceis de desfazer.

Além de um contato sensual e sexual direto, a realidade virtual será um excelente lugar para romance de modo geral. Passeie com seu amante por um Champs-Élysées virtual, caminhe numa praia virtual em Cancun, misture-se com os animais numa reserva de caça simulada em Moçambique. O seu relacionamento inteiro poderá acontecer na Ciberlândia.

A realidade virtual, usando uma interface visual-auditiva-háptica, não é a única tecnologia que irá transformar a natureza da sexualidade no século XXI. Robôs sexuais sexobôs serão populares no começo da terceira década deste novo século. Hoje, a ideia de relações íntimas com um robô ou boneca não é interessante de modo geral porque robôs e bonecas são inanimados. Mas isso irá mudar, pois os robôs ganharão a suavidade, a inteligência, a flexibilidade e a

paixão de seus criadores humanos. (Ao final do século XXI, não existirá uma diferença clara entre humanos e robôs. Qual, afinal de contas, é a diferença entre um humano que atualizou seu corpo e cérebro, utilizando novas tecnologias computacional e nanotecnológica, e um robô que ganhou uma inteligência e sensualidade que ultrapassam as de seus criadores humanos?)

Por volta da quarta década, passaremos para uma era de Experiências virtuais por intermédio de implantes neurais internos. Com essa tecnologia, você será capaz de ter quase qualquer tipo de Experiência com praticamente qualquer pessoa, real ou imaginária, a qualquer momento. E exatamente como as salas de bate-papo de hoje, só que você não precisa de nenhum equipamento que já não esteja na sua cabeça, e poderá fazer muito mais do que apenas bater papo. Você não ficará restrito às limitações de seu corpo natural quando você e seus parceiros puderem assumir qualquer forma física virtual. Muitos novos tipos de Experiência serão possíveis. Um homem conseguirá sentir o que é ser uma mulher, e vice-versa. De fato, não haverá motivo pelo qual você não possa ser os dois ao mesmo tempo, tornando reais, ou pelo menos virtualmente reais, nossas fantasias solitárias.

E então, claro, na última metade do século, haverá os enxames de nanobôs o bom, velho e sexy Utility Fog, por exemplo. Os enxames de nanobôs poderão instantaneamente assumir qualquer forma ou emular qualquer tipo de aparência, inteligência e personalidade que você ou ela desejarem a forma humana, digamos, se é isso o que deixa você excitado.

A MÁQUINA ESPIRITUAL

Não somos seres humanos tentando ser espirituais. Somos seres espirituais tentando ser humanos.

- Jacquelyn Small

Corpo e alma são gêmeos. Só Deus sabe quem é quem.

- Charles A. Swinburne

Todos nós estamos na sarjeta, mas alguns de nós olham para as estrelas.

- Oscar Wilde

Sexualidade e espiritualidade são duas maneiras de transcendermos nossa realidade física cotidiana. Na verdade, existem vínculos entre nossas paixões

sexual e espiritual, assim como os movimentos rítmicos de êxtase associados a algumas variedades da Experiência religiosa sugerem.

Gatilhos mentais

Estamos descobrindo que o cérebro pode ser estimulado diretamente a experimentar uma ampla variedade de sensações que originalmente achávamos que só poderiam ser obtidas com a Experiência física ou mental real. O humor, por exemplo. Na revista *Nature*, o dr. Itzhak Fried e seus colegas da **UCLA** contam como descobriram um gatilho neurológico para o humor. Eles estavam procurando possíveis causas dos ataques epiléticos de uma adolescente e descobriram que aplicar uma sonda elétrica a um ponto específico na área motora suplementar do cérebro dela fez com que ela risse. Inicialmente, os pesquisadores acharam que a risada devia ter sido apenas uma resposta motora involuntária, mas logo perceberam que estavam acionando um gatilho da percepção genuína de humor, e não uma risada forçada. Quando estimulada no ponto exato do cérebro, ela achava tudo engraçado. “Vocês são tão gozados ficando em pé aí” era um comentário típico dela.²⁴

Acionar uma percepção de humor sem circunstâncias que normalmente consideramos engraçadas é talvez uma coisa desconcertante (embora, pessoalmente, eu ache isso muito engraçado). O humor envolve um certo elemento surpresa. Elefantes azuis. As últimas duas palavras foram escritas para surpreender, mas provavelmente não fizeram vocês rir (ou talvez até o tenham feito). Além da surpresa, o evento inesperado precisa fazer sentido a partir de uma perspectiva inesperada, mas que faça sentido. E existem alguns outros atributos que o humor exige e que ainda não entendemos. O cérebro aparentemente possui uma rede neural que detecta o humor a partir de nossas outras percepções. Se estimularmos diretamente o detector de humor do cérebro, então uma situação que normalmente seria comum irá parecer bastante engraçada.

O mesmo parece acontecer com as sensações sexuais. Em Experiências com animais, estimular uma pequena área específica do hipotálamo com uma pequena injeção de testosterona faz com que os animais comecem a ter comportamento sexual de fêmea, independentemente do gênero. Estimular uma área diferente do hipotálamo produz comportamento sexual de macho.

Esses resultados sugerem que, assim que os implantes neurais forem comuns, teremos a capacidade de produzir não só Experiências sensoriais virtuais, mas também os sentimentos associados a essas Experiências. Também poderemos criar alguns sentimentos que não sejam normalmente associados à Experiência.

Então você será capaz de adicionar um pouco de humor às suas Experiências sexuais, se desejar (claro que, para alguns de nós, o humor já poderá fazer parte do negócio).

A capacidade de controlar e de reprogramar nossos sentimentos se tornará ainda mais profunda no final do século XXI, quando a tecnologia avançar para além de meros implantes neurais e nós instalarmos completamente nossos processos de pensamento em um novo meio computacional isto é, *quando nós nos tomarmos software*.

Trabalhamos duro para conseguir sentimentos de humor, prazer e bem-estar. Ser capaz de invocá-los à vontade parece algo que irá destituí-los de sentido. Naturalmente, muitas pessoas usam drogas hoje para criar e ampliar certos sentimentos desejáveis, mas a abordagem química traz consigo muitos efeitos indesejáveis. Com a tecnologia de implantes neurais, você será capaz de aumentar seus sentimentos de prazer e de bem-estar sem a ressaca. Naturalmente, o potencial de abuso é ainda maior do que com as drogas. Quando o psicólogo James Olds forneceu a ratos a habilidade de apertar um botão e estimular diretamente um centro de prazer no sistema límbico de seus cérebros, os ratos apertavam o botão vezes sem conta, às vezes até cinco mil vezes por hora, deixando de fazer qualquer outra coisa, inclusive comer. Só o sono fazia com que eles parassem temporariamente.²⁵

Mesmo assim, os benefícios dos implantes neurais serão bastante atraentes. Para citar apenas um exemplo, milhões de pessoas que sofrem de incapacidade de vivenciar sentimentos intensos de prazer sexual, que é um aspecto importante da impotência. Pessoas com essa deficiência não deixarão passar a oportunidade de superar seu problema por intermédio dos implantes neurais, que eles já poderão ter instalados para outras finalidades. Assim que uma tecnologia é desenvolvida para superar uma incapacidade, não existe maneira de impedir seu uso de ampliar capacidades normais, nem essas restrições seriam necessariamente desejáveis. A habilidade de controlar nossos sentimentos será apenas mais uma dessas situações delicadas do século XXI.

E quanto às Experiências espirituais?

A Experiência espiritual uma sensação de transcender as fronteiras físicas e mortais cotidianas para sentir uma realidade mais profunda desempenha um papel fundamental em religiões e filosofias que, de outra forma, seriam

disparatadas. Experiências espirituais não são todas do mesmo tipo, mas parecem fazer parte de uma ampla faixa de fenômenos mentais. A dança extática de um batista redivivo parece ser um fenômeno diferente da transcendência silenciosa de um monge budista. Mesmo assim, a ideia da Experiência espiritual tem sido relatada de modo tão constante ao longo da história, e em praticamente todas as culturas e religiões, que representa uma flor particularmente brilhante no jardim fenomenológico.

Independentemente da natureza e da derivação de uma Experiência mental, espiritual ou não, assim que conseguimos acesso aos processos computacionais que a ativam, temos a oportunidade de compreender seus correlatos neurológicos. Com a compreensão de nossos processos mentais, virá a oportunidade de capturar nossas Experiências intelectuais, emocionais e espirituais, invocá-las à vontade, e de ampliá-las.

Experiência espiritual por intermédio de música gerada pelo cérebro

Já existe uma tecnologia que parece gerar pelo menos um aspecto de uma Experiência espiritual. Essa tecnologia experimental é chamada Música Gerada pelo Cérebro BGM [*Brain Generated Music*], criada pela NeuroSonics, uma pequena empresa de Baltimore, no Estado norte-americano de Maryland, da qual sou um dos diretores. A BGM é um sistema de biofeedback de ondas cerebrais capaz de evocar uma Experiência denominada Reação de Relaxamento, que está associada ao relaxamento profundo.²⁶ O usuário da BGM fixa três eletrodos descartáveis na cabeça. Em seguida, um computador pessoal monitora as ondas cerebrais do usuário para determinar seu comprimento de ondas alfa exclusivo. Ondas alfa, que estão na faixa de oito e 13 ciclos por segundo (cps), estão associadas a um estado meditativo profundo, se comparadas com as ondas beta (na faixa de 13 a 28 cps), que estão associadas ao pensamento consciente de rotina. A música, então, é gerada pelo computador, de acordo com um algoritmo que transforma o sinal de onda cerebral do próprio usuário.

O algoritmo da BGM é projetado para incentivar a geração de ondas alfa por intermédio da produção de combinações harmônicas agradáveis no momento da detecção de ondas alfa, e sons e combinações de sons menos agradáveis quando a detecção alfa for baixa. Além disso, o fato de que os sons são sincronizados ao comprimento de onda alfa do próprio usuário para criar uma ressonância com o próprio ritmo alfa do usuário também incentiva a produção alfa.

O dr. Herbert Benson, ex-diretor do setor de hipertensão do Beth Israel Hospital, de Boston, e atualmente no New England Deaconess, de Boston, e outros pesquisadores da Harvard Medical School e do Beth Israel, descobriram o

mecanismo neurológico-fisiológico da Reação de Relaxamento, que é descrito como o oposto da resposta de “luta ou fuga” ou reação de estresse.²⁷ A Reação de Relaxamento é associada a níveis reduzidos de epinefrina (adrenalina) e norepinefrina (noradrenalina), pressão sanguínea, nível de açúcar no sangue, respiração e batimento cardíaco. A ocorrência regular dessa reação, segundo relatórios, é capaz de produzir níveis de pressão sanguínea permanentemente baixos (levando-se em conta que a hipertensão é provocada por fatores de estresse) e outros benefícios de saúde. Benson e seus colegas já catalogaram uma série de técnicas que podem provocar a Reação de Relaxamento, incluindo ioga e uma série de formas de meditação.

Eu já tive Experiências com meditação, e em minha própria Experiência com BGM, e em observar outras pessoas, a BGM parece evocar a Reação de Relaxamento. A música propriamente dita parece estar sendo gerada dentro de sua mente. O interessante é que, se você ouvir uma gravação em fita de sua própria música gerada pelo cérebro quando não estiver conectado ao computador, você não vivência a mesma sensação de transcendência. Embora a BGM gravada seja baseada em seu próprio comprimento de ondas alfa, a música gravada estava sincronizada às ondas cerebrais que foram produzidas pelo seu cérebro quando a música foi gerada pela primeira vez, não para as ondas cerebrais que são produzidas enquanto se está escutando a gravação. Você precisa ouvir a BGM “ao vivo” para atingir o efeito de ressonância.

A música convencional é geralmente uma Experiência passiva. Embora um performer possa estar interessado em maneiras sutis pela sua plateia, a música a qual escutamos geralmente não reflete nossa reação. A Música Gerada pelo Cérebro representa uma nova modalidade de música, que permite que a música evolua constantemente, com base na interação entre ela e nossas próprias reações mentais a ela.

Será que a BGM está produzindo uma Experiência espiritual? É difícil dizer. As sensações que são produzidas, enquanto escutamos **BGM** “ao vivo”, são semelhantes aos sentimentos profundos de transcendência que consigo às vezes atingir com a meditação, mas parecem ser produzidos de modo mais confiável pela BGM.

O ponto de Deus

Neurocientistas da Universidade da Califórnia, em San Diego, descobriram o que chamam de módulo de Deus, um pequeno lócus de neurônios no lobo frontal, que parece ser ativado durante as Experiências religiosas. Eles descobriram essa maquinaria neural enquanto estudavam padrões de epilepsia

que tiveram Experiências místicas intensas durante ataques. Aparentemente, as intensas tempestades neurais durante um ataque estimulam o módulo de Deus. Rastreamento a atividade elétrica da superfície do cérebro com monitores de pele altamente sensíveis, os cientistas encontraram uma reação semelhante quando mostraram a pessoas não-epiléticas muito religiosas palavras e símbolos que evocavam suas crenças religiosas.

Uma base neurológica para a Experiência espiritual tem sido postulada há muito tempo pelos biólogos evolucionistas, devido à utilidade social da crença religiosa. Em resposta a relatórios da pesquisa de San Diego, Richard Harries, o Bispo de Oxford, disse através de um porta-voz que “não seria surpreendente se Deus nos tivesse criado com uma faculdade física para a crença”.²⁸

Quando pudermos determinar os correlatos neurológicos da variedade de Experiências religiosas de que nossa espécie é capaz, provavelmente seremos capazes de ampliar essas Experiências da mesma maneira que ampliaremos outras Experiências humanas. Com o próximo estágio da evolução criando uma nova geração de seres humanos, que será trilhões de vezes mais capaz e complexa do que os humanos de hoje, nossa capacidade de Experiência espiritual e de insight provavelmente também ganhará em potência e profundidade.

O puro ato de ser experimentar, estar consciente é espiritual, e reflete a essência da espiritualidade. Máquinas, derivadas do pensamento humano e superando os humanos em sua capacidade de Experiência, afirmarão ter consciência e, portanto, ser espirituais. Elas acreditarão que são conscientes; elas acreditarão que têm Experiências religiosas. Elas se convencerão de que essas Experiências tem sentido. E, devido à inclinação histórica da raça humana para antropomorfizar os fenômenos que encontramos, e ao poder de persuasão das máquinas, provavelmente acreditaremos nelas quando nos disserem isso.

As máquinas do século XXI baseadas no design do pensamento humano farão como seus progenitores humanos têm feito visitar casas reais e virtuais de oração, meditação e adoração para se reconectarem com sua dimensão espiritual.

VAMOS DEIXAR APENAS UMA COISA CLARA: EU NÃO VOU DE JEITO NENHUM FAZER SEXO COM UM COMPUTADOR.

Ei, não vamos chegar a conclusões apressadas. Você deveria ter a mente aberta. **VOU TENTAR TER A MENTE ABERTA. UM CORPO ABERTO JÁ É OUTRA HISTÓRIA. A IDEIA DE TER INTIMIDADES COM UM ELETRÔNICO, NÃO IMPORTA O QUANTO ELE SEJA INTELIGENTE,**

NÃO É MUITO ATRAENTE.

Você já conversou com um telefone?

COM UM TELEFONE? QUERO DIZER, EU CONVERSO COM PESSOAS USANDO UM TELEFONE.

Ok, então um computador pessoal, por volta de 2015 - na forma de um dispositivo de comunicação de realidade virtual visual-auditivo-tátil - é apenas um telefone para você e seu namorado. Mas você pode fazer mais do que simplesmente falar.

EU GOSTO DE CONVERSAR COM MEU NAMORADO QUANDO TENHO UM POR TELEFONE. E OLHAR UM PARA O OUTRO COM UM TELEFONE COM IMAGEM, OU MESMO UM SISTEMA COMPLETO DE REALIDADE VIRTUAL, ME PARECE MUITO GOSTOSO. MAS, QUANTO À SUA IDEIA TÁTIL, ACHO QUE VOU CONTINUAR A TOCAR MEUS AMIGOS E NAMORADOS COM DEDOS DE VERDADE.

Você pode usar dedos de verdade com a realidade virtual, ou pelo menos dedos virtuais de verdade. Mas... e quando você e seu namorado estiverem a uma grande distância um do outro?

VOCÊ SABE, A DISTÂNCIA AUMENTA A SAUDADE. DE QUALQUER MANEIRA, NÃO PRECISAMOS NOS TOCAR O TEMPO TODO, QUERO DIZER, EU SEREI CAPAZ DE ESPERAR ATÉ VOLTAR DA MINHA VIAGEM DE NEGÓCIOS, ENQUANTO ELE TOMA CONTA DAS CRIANÇAS!

Quando a realidade virtual evoluir para uma interface tátil convincente, que incorpore tudo, você vai evitar a todo custo qualquer contato físico?

ACHO QUE DAR UM BEIJINHO DE BOA NOITE NÃO IA FAZER MAL.

Ahá! Começamos a descer a encosta! Então, por que parar por aí?

OK, DOIS BEIJOS.

Claro, como eu acabei de dizer, tenha sempre a mente aberta.

FALANDO EM MENTE ABERTA, SUA DESCRIÇÃO DO “PONTO DE DEUS” PARECE TRIVIALIZAR A EXPERIÊNCIA ESPIRITUAL.

Eu não exageraria na reação a este ponto da pesquisa. Obviamente, alguma coisa acontece nos cérebros das pessoas que estão tendo uma Experiência espiritual. Seja qual for o processo neurológico, assim que o capturamos e compreendemos, deveríamos ser capazes de ampliar as Experiências espirituais em um cérebro recriado rodando em seu novo meio computacional.

ENTÃO ESSAS MENTES RECRIADAS IRÃO RELATAR EXPERIÊNCIAS ESPIRITUAIS. E SUPONHO QUE ELAS AJAM DA

MESMA FORMA DE TRANSCENDÊNCIA, DE ÊXTASE QUE AS PESSOAS AGEM HOJE AO RELATAR CERTAS EXPERIÊNCIAS. MAS SERÁ QUE ESSAS MÁQUINAS SERÃO REALMENTE TRANSCENDENTES E EXPERIMENTARÃO O SENTIMENTO DA PRESENÇA DE DEUS? O QUE ELAS ESTARÃO EXPERIMENTANDO, DE QUALQUER MANEIRA?

Acabamos sempre voltando à questão da consciência. As máquinas no século XXI irão relatar o mesmo espectro de Experiências dos humanos. De acordo com a Lei dos Retornos Acelerados, elas relatarão um espectro ainda maior. E serão muito convincentes quando falarem de suas Experiências. Mas o que elas estarão realmente sentindo? Como eu disse antes, simplesmente não há como verdadeiramente penetrar na Experiência subjetiva de outra entidade, pelo menos não de maneira científica. Quero dizer, nós podemos observar os padrões de disparos neurais, e assim por diante, mas isso é ainda apenas uma observação objetiva.

ESTA É A LIMITAÇÃO DE CIÊNCIA.

Sim, é aí que se supõe que a filosofia e a religião deveriam entrar. Claro que é muito difícil obter concordância em questões científicas.

FREQUENTEMENTE, ISSO PARECE SER VERDADE. AGORA, OUTRA COISA QUE NÃO ME DEIXA MUITO FELIZ SÃO ESSES NANOBÔS DE PILHAGEM QUE VÃO SE MULTIPLICAR SEM FIM. VAMOS ACABAR COM UM GRANDE MAR DE NANOBÔS. QUANDO ELES ACABAREM CONOSCO, VÃO COMEÇAR A COMER UNS AOS OUTROS.

Sim, existe esse perigo. Mas se escrevermos o software com cuidado...

AH, SIM, COMO MEU SISTEMA OPERACIONAL. EU JÁ TENHO UNS PEQUENOS VÍRUS DE SOFTWARE QUE SE MULTIPLICAM ATÉ ENTUPIR MEU DISCO RÍGIDO.

Eu ainda acho que o maior perigo está em seu uso hostil intencional.

EU SEI QUE VOCÊ JÁ DISSE ISSO, MAS NÃO É EXATAMENTE RECONFORTANTE. E, REPETINDO, POR QUE É QUE A GENTE SIMPLEMENTE NÃO DESCE ESSA ESTRADA PARTICULAR?

Ok, diga isso à velha senhora cujos ossos quebradiços serão tratados com eficiência à base de um tratamento com nanotecnologia, ou ao paciente com câncer, cuja doença será destruída por pequenos nanobôs que nadarem por seus vasos sanguíneos.

PERCEBO QUE EXISTEM MUITOS BENEFÍCIOS EM POTENCIAL, MAS OS EXEMPLOS QUE VOCÊ ACABOU DE DAR TAMBÉM

PODEM SER AUFERIDOS ATRAVÉS DE OUTRAS TECNOLOGIAS, MAIS CONVENCIONAIS, COMO A BIOENGENHARIA.

Que bom que você mencionou a bioEngenharia, pois vemos um problema muito semelhante com armas de bioEngenharia. Estamos chegando muito perto de um ponto em que o conhecimento e o equipamento em um programa de biotecnologia típico de uma faculdade será suficiente para criar patógenos autorreplicantes. Enquanto uma arma de nanoEngenharia poderia se replicar em qualquer matéria, viva ou morta, uma arma de bioEngenharia só poderia se replicar em matéria viva, provavelmente apenas seus alvos humanos. Compreendo, isso não consola muito. Em qualquer um dos casos, o potencial de auto replicação descontrolada aumenta enormemente o perigo.

Mas você não vai parar a bioEngenharia ela é a ponta da nossa pesquisa médica. Ela já fez uma grande contribuição para os tratamentos de AIDS que temos hoje; pacientes diabéticos utilizam formas criadas por bioEngenharia de insulina humana; existem drogas eficientes para reduzir o colesterol; existem novos e promissores tratamentos para câncer; e a lista de avanços cresce rapidamente. Existe um otimismo verdadeiro, entre cientistas que normalmente seriam céticos, de que teremos um ganho enorme contra o câncer e outros flagelos com tratamentos de bioEngenharia.

ENTÃO, COMO VAMOS NOS PROTEGER DE ARMAS DE BIOENGENHARIA?

Com mais bioEngenharia drogas antivirais, por exemplo.

E ARMAS DE NANOENGENHARIA?

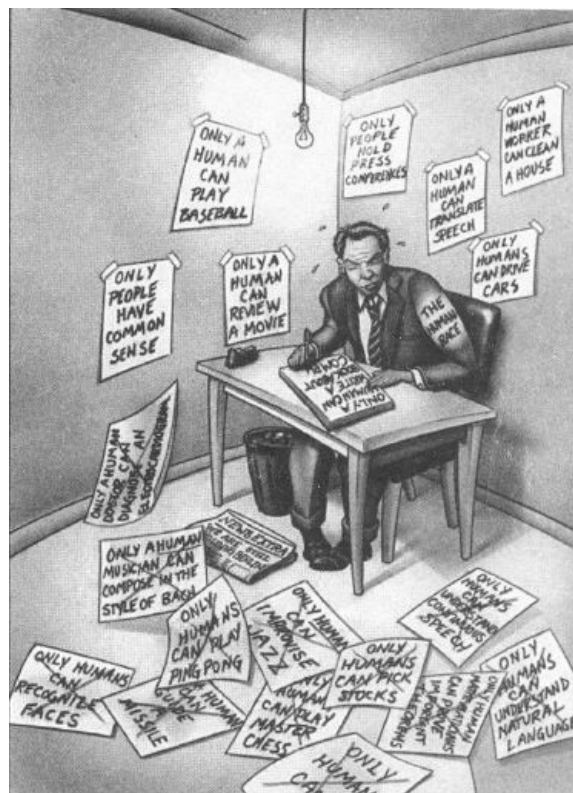
A mesma coisa: mais nanotecnologia.

ESPERO QUE OS NANOBÔS DO BEM VENÇAM. MAS ME PERGUNTO: COMO VAMOS DISTINGUIR OS NANOBÔS DO BEM DOS NANOBÔS DO MAL?

Vai ser difícil, especialmente pelo fato de que os nanobôs são pequenos demais para serem vistos.

A NÃO SER POR OUTROS NANOBÔS, CERTO?

Boa pergunta.



Capítulo Oito

1999

O DIA EM QUE OS COMPUTADORES PARARAM

A digitalização da informação em todas as suas formas provavelmente será conhecida como o avanço tecnológico mais fascinante do século XX.

- An Wang

Economia, sociologia, geopolítica, arte, religião: todas oferecem poderosas ferramentas que foram suficientes por séculos para explicar as superfícies essenciais da vida. Para muitos observadores, não parece haver nada de novo sob o sol nenhuma necessidade de uma compreensão profunda das novas ferramentas do homem nenhuma exigência de descer até o microcosmo da eletrônica moderna para se poder compreender o mundo. O mundo já está por demais dentro de nós.

- George Gilder

Se todos os computadores, em 1960, parassem de funcionar, poucas pessoas teriam reparado. Alguns milhares de cientistas teriam visto um atraso para receber impressos de seu último envio de dados em cartões perfurados. Alguns relatórios de negócios teriam sido sustados. Nada de preocupante.

Mas, em 1999, a história é outra. Se todos os computadores parassem de funcionar, a sociedade acabaria parando. Em primeiro lugar, a distribuição de energia elétrica iria falhar. Mesmo que a energia elétrica continuasse (e não continuaria), praticamente tudo quebraria mesmo assim. A maioria dos veículos motorizados possui microprocessadores embutidos e, por isso, os únicos carros que funcionariam seriam bastante velhos. Quase não haveria caminhões, ônibus, ferrovias, metrô ou aviões em funcionamento. Não haveria comunicação eletrônica: telefones, rádio, televisão, fax, pagers, e-mail, e, claro, a Web, cessariam todos de funcionar. Você não receberia seu contracheque. Não poderia tirá-lo do banco se o recebesse. Não conseguiria fazer nenhuma transação bancária. Negócios e governo só operariam no nível mais primitivo. E se todos os dados em todos os computadores desaparecessem, aí nós realmente

estariamos em apuros.

Está havendo uma preocupação substancial com o Y2K (Problema do Ano 2000), de modo que pelo menos alguns processos computadorizados serão interrompidos quando chegarmos ao ano 2000*. O Y2K estava relacionado a software desenvolvido há uma ou mais décadas atrás, quando os campos de dados costumavam ter apenas dois dígitos, o que fará com que todos esses programas se comportem de modo errático quando o ano virar “00”. Sou mais radical em relação a esse assunto em particular do que algumas pessoas. O Y2K está provocando a reprogramação urgente de velhos programas comerciais que já precisavam mesmo ser “apagados” e reprojitados de qualquer maneira. Haverá algumas interrupções de funcionamento (e muitos processos na justiça), mas, na minha opinião, o Y2K dificilmente provocará os problemas econômicos maciços que as pessoas temem. (Apenas lembrando: este livro foi escrito antes da virada do milênio. - N. do T.).

Em menos de 40 anos, passamos de métodos manuais de controlar nossas vidas e civilização para nos tornarmos totalmente dependentes da operação contínua de nossos computadores. Muita gente se sente confortável com o fato de que ainda temos nossa mão na “tomada”, que podemos desligar nossos computadores se eles começarem a se sentir muito superiores. Na verdade, são os computadores que estão com suas mãos figuradas na nossa tomada. (Dê a eles mais duas décadas e as mãos deles não serão tão figuradas.)

Hoje, não há muita preocupação a esse respeito: os computadores, por volta de 1999, são dependentes, dóceis e burros. A capacidade de dependência (embora não perfeita) provavelmente permanecerá. A burrice, não. Serão os humanos, pelo menos os não atualizados, que parecerão burros daqui a várias décadas. E a docilidade também não vai permanecer.

Para uma série cada vez maior de tarefas *específicas*, a inteligência dos computadores contemporâneos parece impressionante, até mesmo formidável, mas as máquinas, hoje, permanecem frágeis e de mentalidade estreita. Em contraste, nós, humanos, temos mais sensibilidade quando nos afastamos de nossas próprias estreitas áreas de especialização. Ao contrário do Deep Blue, Garry Kasparov não é incompetente em questões não ligadas ao xadrez.

A MÁQUINA CRIATIVA

Numa época como a nossa, em que a habilidade mecânica alcançou uma perfeição insuspeitada, as obras mais famosas poderão ser ouvidas com a mesma facilidade com que podemos beber um copo de cerveja, e só custa dez centavos, como as balanças automáticas

de pesar. Será que não devemos temer essa domesticação do som, esta magia que qualquer um pode trazer à vontade de um disco? Será que isso não acabará por desperdiçar a força misteriosa de uma arte que poderíamos ter achado indestrutível?

- Claude Debussy

Colaboração com máquinas! Qual é a diferença entre manipulação da máquina e a colaboração com elas?... Subitamente, uma janela se abriria para um vasto campo de possibilidades; os limites de tempo desapareceria, e as máquinas pareceriam se tomar componentes humanizados da rede interativa que agora consiste da pessoa e da máquina ainda obediente mas cheia de sugestões para os controles-mestres da imaginação.

- Vladimir Ussachevsky

Alguém disse a Picasso que ele deveria fazer pinturas de coisas do jeito que elas são: pinturas objetivas. Ele resmungou que não tinha certeza exatamente do que isso significava. A pessoa que o provocou tirou da carteira uma fotografia de sua esposa e disse: “Pronto, viu? Isto é um retrato de como ela realmente é.” Picasso olhou para a foto e disse: “Ela é bem pequena, hein? E achatada também.”

- Gregory Bateson

A era do artista cibernético começou, embora ainda esteja em um estágio primário. Assim como com os artistas humanos, você nunca sabe o que esses sistemas criativos vão fazer a seguir. Até o momento, entretanto, nenhum deles cortou uma orelha nem correu pelado pela rua. Eles ainda não têm corpos para demonstrar esse tipo de criatividade.

A força desses sistemas se reflete em uma originalidade muitas vezes surpreendente, no jeito de se pronunciar uma frase, de uma forma ou de um verso musical. As fraquezas deles têm a ver, novamente, com o contexto, ou com a falta deste. Como esses computadores criativos são deficientes na Experiência de mundo real de suas contrapartes humanas, eles muitas vezes perdem sua linha de raciocínio e se tornam incoerentes. Talvez o mais bem-sucedido em termos de manter uma consistência temática por intermédio de uma obra de arte seja o pintor robótico de Harold Cohen, chamado Aaron, que discuto mais adiante. A principal razão pela qual Aaron faz tanto sucesso é a abrangência de sua extensa

base de conhecimento, que Cohen tem construído, regra por regra, há três décadas.

Fazendo uma *Jam Session* com seu computador

A frequente originalidade desses sistemas faz com que eles sejam grandes colaboradores de artistas humanos, e, dessa maneira, os computadores já provocaram um efeito transformador nas artes. Esta tendência se dá com mais intensidade nas artes musicais. A música sempre utilizou as mais avançadas tecnologias que existiram; os artesãos criadores de gabinetes do século XVIII; as indústrias metalúrgicas do século XIX; e a eletrônica analógica dos anos 1960. Hoje, praticamente toda a música comercial gravações, trilhas sonoras de cinema e televisão é criada em estações de trabalho de música de computador, que sintetizam e processam os sons, gravam e manipulam as sequências de notas, geram notações e até mesmo produzem automaticamente padrões rítmicos, linhas de baixo e progressões e variações melódicas.

Até recentemente, a técnica para tocar um instrumento estava ligada de modo inextricável às fontes criadas. Se você quisesse sons de violino, precisaria tocar violino. As técnicas de tocar derivavam das necessidades físicas de criar os sons. Agora, esse elo foi quebrado. Se você gosta da técnica de tocar flauta, ou simplesmente aprendeu-a por acaso, poderá utilizar um controlador eletrônico de sopro que toca exatamente como uma flauta acústica, mas cria os sons não somente a partir de uma variedade de flautas, mas de praticamente qualquer outro instrumento, acústico ou eletrônico. Hoje existem controladores que emulam a técnica de tocar dos instrumentos acústicos mais populares, incluindo piano, violino, guitarra, bateria e uma série de instrumentos de sopro. Como não estamos mais limitados pela física da criação de sons acusticamente, está emergindo uma nova geração de controladores, que não têm a menor semelhança com nenhum instrumento acústico convencional, mas, em vez disso, tenta otimizar os fatores humanos da criação de música com nossos dedos, braços, pés, boca e cabeça. Todos os sons podem agora ser tocados polifonicamente e podem ser colocados em camadas (tocados simultaneamente) e sequencialidades uns com os outros. Além disso, não é mais necessário tocar música em tempo real a música pode ser executada em uma velocidade e reproduzida em outra, sem mudar o timbre ou outras características das notas. Toda espécie de limitação imposta pela idade já foi superada, o que permite a um adolescente

produzir o som de uma orquestra ou de uma banda de rock em seu quarto.

Um Teste de Turing musical

Em 1997, Steve Larson, professor de música da Universidade do Oregon, produziu uma variação musical do Teste de Turing, fazendo com que uma plateia tentasse determinar qual de três peças musicais havia sido escrita por um computador e qual das três havia sido escrita, dois séculos antes, por um humano chamado Johann Sebastian Bach. Larson se sentiu apenas um pouco insultado quando a plateia votou que sua própria peça era a composição do computador, mas se sentiu um tanto vingado quando a plateia selecionou a peça escrita por um programa de computador de nome **EMI** Experiências em Inteligência Musical [*Experiments in Musical Intelligence*] como sendo a autêntica composição de Bach. Douglas Hofstadter, um observador (e colaborador) de longa data do progresso da inteligência de máquina, chama o EMI, criado pelo compositor David Cope, de “o projeto mais instigante de inteligência artificial que já vi na vida.”²

Um programa talvez ainda mais bem-sucedido é o chamado Improvisor, escrito por Paul Hodgson, saxofonista de jazz britânico. O Improvisor pode emular estilos que variam de Bach a grandes nomes do jazz, como Louis Armstrong e Charlie Parker. O programa já tem sua própria audiência. O próprio Hodgson disse: “Se eu fosse novo na cidade e ouvisse alguém tocando como o Improvisor, gostaria muito de entrar na roda e participar.”³

A fraqueza da composição computadorizada de hoje é, novamente, uma fraqueza de contexto. “Se eu ligar três segundos de **EMI** e perguntar a mim mesmo ‘o que foi isso?’, eu diria Bach”, disse Hofstadter. Passagens mais longas nem sempre são tão bem-sucedidas. Muitas vezes “é como ouvir linhas aleatórias de um soneto de Keats. Você fica se perguntando o que foi que aconteceu com Keats naquele dia. Será que ele estava completamente bêbado?”

A máquina literária

Uma pergunta para você: que tipo de assassino tem fibra?

Resposta: um assassino cereal.

Apresso-me a confessar que não fui eu quem inventou esse trocadilho. Ele foi escrito por um programa de computador chamado Máquina de Análise e Produção de Piadas - JAPE [*Joke Analysis and Production Engine*], criado por Kim Binsted. JAPE é o mais avançado dispositivo na arte da escrita automática

de péssimos trocadilhos. Ao contrário do EMI, o JAPE não passou em um Teste de Turing modificado quando foi recentemente comparado com o comediante humano Steve Martin. A plateia preferiu Steve Martin.⁴

As artes literárias ficam atrás das musicais no uso da tecnologia. Isto pode estar relacionado com a profundidade e a complexidade de uma prosa até mesmo rotineira, uma qualidade que Turing reconheceu quando baseou seu Teste de Turing na capacidade dos humanos em gerar uma linguagem escrita convincente. Mesmo assim, os computadores possuem um benefício prático significativo para aqueles de nós que criam obras escritas. O maior impacto foi provocado pelo processador de texto simples. Não uma tecnologia artificial *per se*, o processamento de texto foi derivado dos editores de texto desenvolvidos ao longo da década de 1960 nos laboratórios de IA no **MIT** e em outros lugares.

Este livro certamente se beneficiou da disponibilidade de bancos de dados linguísticos, verificadores ortográficos, dicionários on-line, isso para não mencionar os vastos recursos de pesquisa da World Wide Web. Grande parte deste livro foi ditada para meu computador pessoal, utilizando um programa de reconhecimento de fala contínua chamado Voice Xpress Plus, da divisão de ditado da Lemout & Hauspie (ex-Kurzweil Applied Intelligence), que entrou em disponibilidade enquanto eu escrevia este livro. Com relação à gramática automática e aos verificadores de estilo, fui forçado a desativar esse recurso específico do Microsoft Word, pois ele parecia não gostar da maioria das minhas frases. Vou deixar a crítica estilística deste livro para meus leitores humanos (pelo menos desta vez).

Uma série de programas ajuda os escritores a realizarem seus brainstorms. O ParaMind, por exemplo, “produz novas ideia a partir de suas ideia”, segundo sua própria literatura.⁵ Outros programas permitem que os escritores rastreiem as complexas histórias, caracterizações e interações de personagens em obras muito extensas de ficção como romances longos, séries de romances e séries dramáticas de televisão.

Programas que escrevem obras completamente originais são particularmente instigantes porque os leitores humanos estão profundamente conscientes da miríade de exigências sintáticas e semânticas para uma linguagem escrita sensível. Músicos, cibernéticos ou não, podem se safar com um pouco mais de inconsistência do que escritores.

Com isso em mente, levem em consideração o relato seguinte.

Uma história de traição

Dave Striver adorava a universidade. Ele adorava suas torres de relógio cobertas de hera, seus tijolos firmes e antigos, e seus jardins verdejantes e ensolarados, cheios de gente jovem e ansiosa. Ele também adorava o fato de que a universidade está livre das atribuições implacáveis e rígidas do mundo dos negócios... só que não é bem assim: o mundo acadêmico tem seus próprios testes, e alguns deles são tão impiedosos quanto qualquer profissional do mercado. Um exemplo perfeito é a defesa de tese: para alguém conseguir o Ph.D., de modo a se tornar um doutor, é preciso passar por um exame oral sobre a tese. Este era um teste que o professor Edward Elart gostava de aplicar.

Dave queria desesperadamente ser um doutor. Mas ele precisava das assinaturas de três pessoas na primeira página de sua tese, as inscrições sem preço que, juntas, certificariam que ele havia passado em sua defesa. Uma das assinaturas tinha de vir do professor Hart, e Elart dissera muitas vezes para outras pessoas e para si mesmo que tinha a maior honra em ajudar Dave a assegurar seu sonho tão merecido.

Muito antes da defesa, Striver deu a Elart a penúltima cópia de sua tese. Elart a leu e disse a Dave que ela era absolutamente de primeira linha, e que ele a assinaria com prazer na defesa. Chegaram até mesmo a apertar as mãos no escritório repleto de livros de Elart. Dave reparou que os olhos de Hart eram brilhantes e confiáveis, e sua postura era paternal.

Na defesa, Dave achou que havia resumido de modo eloquente o Capítulo 3 de sua tese. Duas questões foram perguntadas, uma pelo professor Rogers e outra pela professora Meteer; Dave respondeu a ambas, aparentemente para a satisfação de todos. Não houve mais objeções.

O professor Rogers assinou. Ele passou o volume para Meteer; ela também assinou, e em seguida passou o livro para Hart. Hart não se mexeu.

- Ed? perguntou Rogers.

Hart continuou sem se mover. Dave começou a sentir uma ligeira tontura.

- Edward, você não vai assinar?

Mais tarde, Hart estava sentado sozinho em seu escritório, em sua grande poltrona de couro, entristecido com o fracasso de Dave. Tentou pensar em formas de ajudar Dave a atingir seu sonho.

Ok, acaba aí. E preciso confessar que a história meio que sai pela tangente, terminando com um gemido, e não com um estrondo (alusão a um poema famoso de T. S. Eliot, *The waste land*. - N. do T.). A escritora e editora de Seattle Susan Mulcahy chamou a história de “amadora”, criticando a gramática e a escolha de palavras do autor. Mas, mesmo assim, Mulcahy ficou surpresa e impressionada quando descobriu que o autor era um computador. O programa que escreveu a história, chamado BRUTUS.I, foi criado por Selmer Bringsjord, Dave Ferucci e uma equipe de

engenheiros de software do Rensselaer Polytechnic Institute. Aparentemente, o BRUTUS.I é especialista em traição, um conceito que Bringsjord e Ferucci passaram oito anos ensinando meticulosamente ao computador. Os pesquisadores reconhecem que seu programa precisa aprender outros assuntos além de traição. “O que faz com que algo seja interessante é a combinação de todas as emoções”, disseram Bringsjord e Ferucci, e isso é uma coisa que os escritores cibernéticos ainda não são capazes de conseguir.⁶

O poeta cibernético

Outro exemplo de um autor computadorizado é um programa de computador que eu projetei, chamado Ray Kurzweil's Cybernetic Poet (RKCP). O RKCP é um sistema de poesia gerado por computador, que utiliza técnicas de modelagem de linguagem para gerar automaticamente uma poesia completamente original com base em poemas que ele “leu”.⁷

O RKCP lê uma seleção de poemas de um autor ou autores em particular (de preferência uma seleção extensa) e então cria um “modelo de linguagem” da obra desse autor baseada em modelos de Markov, um primo matemático das redes neurais. O RKCP pode, então, escrever poemas originais a partir desse modelo. Como discuti antes, o RKCP utiliza um algoritmo recursivo de geração de poesia para conseguir o estilo de linguagem, os padrões rítmicos e a estrutura do poema dos autores originais cujos poemas foram analisados. Também foram usados algoritmos para manter a consistência temática ao longo do poema. Os poemas são de um estilo semelhante ao do (s) autor(es) originalmente analisado(s), mas são poesias novas e completamente originais. O sistema tem até mesmo regras para desencorajar a si mesmo de cometer plágio.

Você pode baixar uma cópia grátis do RKCP em www.kurzweiltech.com.

A seguir, uma pequena amostra de poemas escritos pelo Cybernetic Poet, depois de ter “lido” poemas de diversos poetas famosos, bem como poetas contemporâneos menos conhecidos.

Poemas do *Cybernetic Poet* de Ray Kurzweil

PAGINA

Um haikai escrito pelo Cybernetic Poet, depois de ler poemas de Wendy Dennis

Passo de dança no fundo da página atravessando a leoa aninhada em minha alma.

IMAGINE AGORA E CANTE

Um poema escrito pelo Cybernetic Poet, depois de ler poemas de Wendy Dennis e Ray Kurzweil, e poemas de amor de diversos autores

*Imagine agora e cante,
criando mitos
formando joias com a neve que cai.*

ALMA

Um haikai escrito pelo Cybernetic Poet depois de ler poemas de Joh Keats e Wendy Dennis

*Você partiu minha alma
o suco da eternidade
o espirito de meus lábios.*

ACHO QUE VOU QUEBRAR

Um poema escrito pelo Cybernetic Poet, depois de ler poemas de Ray Kurzweil, Robert Frost e Wendy Dennis

*Acho que vou quebrar.
Só para mim mesmo com Deus
paz em um som curioso
para mim em meu coração?
e a vida está chorando
por um coração que sangra
de ramos que se curvam
tais caminhos deles, de ramos que se curvam
tais caminhos de brisa
sabem que estivemos aqui.*

A COISA QUE SUFOCA

Um haikai escrito pelo Cybernetic Poet, depois de ler poemas de Patrícia Camarena Rose e Wendy Dennis

*A coisa que sufoca
escola católica*

onde não posso ser real.

Um poema escrito pelo Cybernetic Poet, depois de ler depois de ler poemas de Dave Gitomer

ME MARAVILHEI

*hoje me maravilhei
se devaneei
hoje eu vi você
aprendi
pasma e você
se me maravilhei
se devaneei
hoje tive um desejo
se eu visse você
se eu visse você
se eu tivesse um desejo*

FILHO DA LUA

Um haikai escrito pelo Cybernetic Poet, depois de ler poemas de Kathleen Francês Wheeler

*Louco filho da lua
Esconde-se de seu caixão
Para arriscar seu destino.*

ANJO

Poema escrito pelo Cybernetic Poet, depois de ler poemas de Patrícia Camarena Rose e Sue Klapes Kelly

*Raios da aurora no anjo
com um mar calmo e silencioso
com cem vezes que escrevemos
com uma chance de podermos nos abrir
um ritmo constante em seu rosto
quarto em silêncio
praia desolada,*

restos dispersos de amor.

GATO

Haikai escrito pelo Cybernetic Poet, depois de ler poemas de Randi e Kathryn Lynn

*Um velho gato amarelo
Dorme contente,
Seu coração murmura*

LONGOS ANOS SE PASSARAM

Poema escrito pelo Cybernetic Poet, depois de ler poemas de Randi e Kathryn Lynn

*Longos anos se passaram.
Penso em adeus.
Trancada na noite
Penso em paixão;
Atraída para o azul, a noite
Durante a página
Meus pedaços estilhaçados de vida
vendo a alegria
pedaços estilhaçados de amor
Meus pedaços estilhaçados de amor
murcharam*

SANDÁLIAS

Haikai escrito pelo Cybernetic Poet, depois de ler poemas de Kimberly MaLauchilin e Ray Kurzweil

*Sandálias jogadas de lado
Um chamado de volta a mim mesmo,
Tão oco que ecoa.*

As Artes Visuais

As artes visuais estão no meio do caminho entre as artes musical e literária, em termos do impacto dos computadores. Uma grande parte da arte visual é

criada usando tinta e programas de ilustração, que podem simular os efeitos de materiais convencionais como pinceladas de tinta e, também, implementar um amplo espectro de técnicas que só poderiam ser executadas em um computador. Recentemente, os computadores também assumiram a maior parte das tarefas de edição de vídeo e filme.

A Web está repleta dos devaneios artísticos de artistas cibernéticos. Uma técnica popular é o algoritmo evolucionário, que permite que o computador evolua uma imagem, refazendo-a centenas ou milhares de vezes. Humanos achariam essa abordagem difícil: eles desperdiçariam muita tinta, por exemplo.

Mutator, a criação do escultor William Latham e do engenheiro de software Stephen Todd, da IBM, em Winchester, Inglaterra, utiliza a abordagem evolucionária, assim como um programa escrito por Karl Sims, um artista e cientista que trabalha na Genetic Arts, em Cambridge, Massachusetts.⁸

Provavelmente, o mais importante praticante de arte visual gerada por computador é Harold Cohen. Seu robô computadorizado, chamado Aaron, tem evoluído e criado desenhos e pinturas há 20 anos. Essas obras de arte visual são completamente originais, criadas inteiramente pelo computador, e pintadas com tinta de verdade. Cohen passou mais de três décadas dotando seu programa de um conhecimento de muitos aspectos do processo artístico, incluindo composição, desenho, perspectiva e cor, bem como uma variedade de estilos. Embora Cohen tenha escrito o programa, ainda assim as pinturas criadas são sempre uma surpresa para ele.

Frequentemente perguntam a Cohen de quem deveria ser o crédito pelos resultados de seu empreendimento, que têm sido exibidos em museus por todo o mundo.⁹ Cohen fica feliz em aceitar o crédito, e Aaron não foi programado para reclamar. Cohen se gaba de que será o primeiro artista da história capaz de ter uma mostra póstuma de obras completamente originais.¹⁰

Pinturas de Aaron por Cohen

Estas cinco pinturas originais foram feitas por Aaron, um robô computadorizado, construído e programado por Harold Cohen. Essas pinturas coloridas estão reproduzidas aqui em preto e branco. Você pode ver as versões coloridas no website deste livro, em www.penguinputnam.com/kurzweil.¹¹





PREVISÕES DO PRESENTE

Com as mudanças deste novo milênio, o que não falta são antecipações de como será este século. O futurismo tem uma longa história, mas não particularmente impressionante. Um dos problemas com previsões do futuro é que, quando fica claro que elas não têm muita semelhança com os eventos reais, é tarde demais para conseguir o dinheiro de volta.

Talvez o problema seja que deixamos simplesmente qualquer um fazer previsões. Talvez devêssemos exigir do futurismo uma certificação para que ele tivesse permissão de fazer seus prognósticos. Uma das exigências poderia ser que, em retrospecto, pelo menos metade de suas previsões com dez ou mais anos de antecipação não fossem completamente constrangedoras. Mas um programa de certificação desse tipo seria um processo lento, e, suspeito eu, inconstitucional.

Para ver por que o futurismo tem uma reputação tão manchada, eis aqui uma pequena amostra de previsões de pessoas que, até aquele momento, eram inteligentes:

O telefone apresenta defeitos demais para ser levado seriamente em conta como um meio de comunicação.

- Executivo da Western Union, 1876

Máquinas voadoras mais pesadas que o ar não são possíveis.

- Lorde Kelvin, 1895

As leis e os fatos mais importantes e fundamentais da ciência física

já foram todos descobertos, e estão agora tão firmemente estabelecidos que a possibilidade de virem a ser suplementadas um dia por novas descobertas é extremamente remota.

- Albert Abraham Michelson, 1903

Aviões não têm valor militar.

- Professor Marshal Foch, 1912

Acho que existe no mundo um mercado para talvez cinco computadores.

- Presidente da IBM, Thomas Watson, 1943

Os computadores do futuro pesarão no máximo 1,5 toneladas.

- Popular Mechanics, 1949

Parece que já atingimos os limites do que é possível alcançar com a tecnologia de computadores, embora devamos tomar cuidado com esse tipo de afirmação, pois tende a soar bastante tolo em cinco anos.

- John von Neumann, 1949

Não existe motivo para que indivíduos tenham computadores em suas casas.

- Ken Olson, 1977

640 mil bytes de memória deverão ser suficientes para qualquer pessoa.

- Bill Gates, 1981

Muito antes do ano 2000, toda a estrutura antiquada de graus de faculdade, pósgraduação e créditos estará em ruínas.

- Alvin Toffler

A Internet sofrerá um colapso catastrófico em 1996.

- Robert Metcalfe (inventor da Ethernet), que, em 1997, comeu suas palavras (literalmente) em frente de uma platéia

Agora eu vou puxar a brasa para minha própria sardinha, e posso compartilhar com vocês as minhas previsões que deram particularmente certo. Mas, olhando em retrospecto para as muitas previsões que fiz ao longo dos últimos 20 anos, direi que não encontrei nenhuma que descobrisse ser particularmente embaraçosa (a não ser, talvez, por alguns planos de negócios de começo de carreira).

The age of intelligent machines, que escrevi entre 1987 e 1988, bem como outros artigos e palestras que escrevi no final dos anos 1980, continha muitas de minhas previsões sobre os anos 1990, entre as quais as relacionadas a seguir.¹²

- *Previsão*: um computador derrotará o campeão de xadrez mundial humano por volta de 1998, e pensaremos menos no xadrez como uma questão de resultados.

O que aconteceu: como já mencionei, esse ano estava errado. Desculpem.

- *Previsão*: haverá um declínio cada vez maior no valor dos bens (isto é, recursos materiais) com a maior parte da nova riqueza criada no conteúdo de conhecimento de produtos e serviços, levando a um crescimento e prosperidade econômicos sustentados.

O que aconteceu: conforme previsto, tudo está indo de vento em popa (exceto, conforme também previsto, para investidores de *commodities* de longo prazo, que caíram 40% ao longo da última década). Até mesmo as taxas de aprovação de políticos, do presidente até o Congresso, estão altas como nunca antes*. Mas a economia forte tem mais a ver com o Bill da costa oeste de Washington do que o Bill na costa leste de Washington. (O autor compara Bill Gates a Bill Clinton, na época presidente dos Estados Unidos. N. do T.). Não que o sr. Gates mereça o crédito principal, mas a força econômica motriz no mundo hoje é informação, conhecimento, e tecnologias de computador relacionadas a elas. O presidente do Federal Reserve dos EUA, Alan Greenspan, reconheceu recentemente que a expansão econômica e a prosperidade sustentada sem precedentes de hoje se deve à eficiência cada vez maior oferecida pela tecnologia de informação. Mas isto está certo apenas pela metade. Greenspan ignora o fato de que a maioria da nova riqueza que está sendo criada é ela própria composta por informação e conhecimento 1 trilhão de dólares só no Vale do Silício. O aumento da eficiência é apenas parte da história. A nova riqueza na forma da capitalização de mercado das empresas de informática (basicamente as de software) é real e substancial, e está levantando o moral de todos os investidores.

A Subcomissão de Finanças do Congresso dos EUA relatou que, no período de oito anos entre 1989 e 1997, o valor total dos imóveis e dos bens de consumo duráveis nos EUA aumentou apenas 33%, de US\$ 9,1 trilhões para US\$ 12,1 trilhões. O valor dos depósitos bancários e instrumentos de mercado de crédito aumentaram somente 27%, de US\$ 4,5 trilhões para US\$ 5,7 trilhões.

Entretanto, o valor de ações patrimoniais aumentou impressionantes 239%, de US\$ 3,4 trilhões para US\$ 11,4 trilhões! O mecanismo primário desse aumento é o conteúdo de conhecimento cada vez mais rápido de produtos e serviços, assim como o aumento da eficiência, fomentado pela tecnologia da informação. E aí que a nova riqueza está sendo criada.

Informação e conhecimento não estão limitados pela disponibilidade de recursos materiais e, de acordo com a Lei dos Retornos Acelerados, eles continuarão a crescer de modo exponencial. A Lei dos Retornos Acelerados inclui retornos financeiros. Logo, uma implicação central da lei é a continuidade do crescimento econômico.

Enquanto este livro está sendo escrito, uma atenção considerável tem sido dada às crises econômicas no Japão e em outros países da Ásia. Os Estados Unidos têm pressionado o Japão para estimular sua economia com cortes de taxas e gastos governamentais. Mas pouca atenção está sendo dada à raiz da crise, que é o estado da indústria de software da Ásia, e a necessidade de

instituições empresariais eficientes que promovam a criação de software e outras formas de conhecimento. Elas incluem *venture capital* e *angel capital*¹¹, ampla distribuição de opções de ações para empregados e incentivos que encorajem e recompensem a aceitação de riscos. Embora a Ásia esteja se encaminhando para essa direção, esses novos imperativos econômicos têm crescido com mais rapidez do que a maioria dos observadores esperavam (e a importância deles continuará a subir de acordo com a Lei dos Retornos Acelerados).

- *Previsão*-, uma rede mundial de informações que liga quase todas as organizações e dezenas de milhões de indivíduos emergirão (embora não com o nome de World Wide Web).

O que aconteceu: a Web emergiu em 1994 e decolou entre 1995 e 1996. A Web é verdadeiramente um fenômeno mundial, e produtos e serviços na forma de informações circulam pelo mundo inteiro sem se importar com fronteiras de qualquer espécie. Um relatório feito em 1998 pelo

Departamento de Comércio dos EUA creditou a Internet como um fator importante no incentivo do crescimento econômico e na redução da inflação. Ele previu que o comércio na Internet ultrapassará US\$ 300 bilhões por volta de 2000. Relatórios da indústria fizeram um cálculo aproximado de 1 trilhão de dólares, quando todas as transações de empresas entre empresas realizadas pela Web forem colocadas no cálculo.

- *Previsão*: haverá um movimento nacional para conectar nossas salas de aula.

O que aconteceu: A maioria dos Estados dos EUA (com a exceção, infelizmente, de meu próprio Estado de Massachusetts) tem orçamentos de US\$ 50 a US\$ 100 milhões por ano para conectar salas de aula e instalar computadores e software relacionados. É uma prioridade nacional fornecer acesso a computadores e à Internet a todos os estudantes. Muitos professores permanecem relativamente analfabetos informáticos, mas as crianças estão fornecendo grande parte da especialização necessária.

- *Previsão*: no esforço de guerra, haverá uma confiança quase total em técnicas de imageamento digital, reconhecimento de padrões e outras tecnologias baseadas em software. O lado que tiver as máquinas mais inteligentes vencerá. “Uma mudança profunda na estratégia militar acontecerá no começo dos anos 1990. As nações mais desenvolvidas passarão a confiar cada vez mais em “armas inteligentes”, que incorporam copilotos eletrônicos, técnicas de reconhecimento de padrões e tecnologias avançadas para rastreamento, identificação e destruição.”

O que aconteceu: vários anos depois que escrevi *The age of intelligent machines*, a Guerra do Golfo foi a primeira a estabelecer claramente esse paradigma. Hoje, os Estados Unidos têm o armamento computadorizado mais avançado, e permanece insuperável em seu status como superpotência militar.

- *Previsão*: a grande maioria das músicas comerciais será criada em sintetizadores computadorizados.

O que aconteceu: a maioria dos sons musicais que você ouve na televisão, no cinema e em gravações é criada, hoje, em sintetizadores digitais, juntamente com sequenciadores e processadores de som computadorizados.

- *Previsão*: uma identificação de pessoas confiável, utilizando técnicas de reconhecimento de padrões aplicada a padrões visuais e de fala, substituirá travas e chaves em vários casos.

O que aconteceu: Tecnologias de identificação de pessoas que utilizam padrões de fala e aparência facial começaram a ser usadas hoje em caixas eletrônicos e para controlar a entrada em prédios e instalações de alta segurança.¹⁴

- *Previsão*: com o advento de uma ampla comunicação eletrônica na União Soviética, forças políticas incontrolláveis serão soltas. Existirão “métodos bem mais poderosos do que as copiadoras que as autoridades costumavam proibir”. As autoridades serão incapazes de controlar isso. O controle totalitário das informações terá sido destruído.

O que aconteceu: a tentativa de golpe contra Gorbachev, em agosto de 1991, foi malbaratada principalmente por intermédio de telefones celulares, aparelhos de fax, correio eletrônico e outras formas de comunicação eletrônica amplamente distribuída e anteriormente não disponível. No total, a comunicação descentralizada contribuiu de modo significativo para o desmoronamento do controle governamental econômico e político totalitário centralizado na antiga União Soviética.

- *Previsão:* muitos documentos não existem em papel porque incorporam informações na forma de áudio e vídeo.

O que aconteceu: documentos de Web normalmente incluem áudio e vídeo, que só podem existir em sua forma de Web.

- *Previsão:* por volta do ano 2000, surgirão chips com mais de um bilhão de componentes.

O que aconteceu: conseguimos.

- *Previsão:* a tecnologia para o “chofer cibernético” (carros autopilotados utilizando sensores especiais nas estradas) se tornará disponível no fim dos anos 1990, com implementação em grandes rodovias, viabilizada durante a primeira década do século XXI.

O que aconteceu: carros auto pilotados estão sendo testados em Los Angeles, Londres Tóquio e outras cidades. Em 1997, foi realizada uma extensa bateria de testes na Interstate 15, no sul da Califórnia. Os urbanistas estão percebendo agora que as tecnologias de pilotagem automática expandirão enormemente a capacidade das estradas que existem. Instalar os sensores necessários em uma rodovia custa apenas cerca de 10 mil dólares por milha, comparado ao preço de 1 a 10 milhões de dólares por milha para a construção de novas rodovias. Rodovias automatizadas e carros auto pilotáveis também eliminarão a maioria dos acidentes nessas estradas. O consórcio NAHS National Automated Highway System [Sistema de Automação das Rodovias Nacionais], dos EUA, prevê a implementação desses sistemas durante a primeira década do século XXI.¹⁵

- *Previsão-*, o reconhecimento de fala contínua CSR [*continuous speech recognition*] com grandes vocabulários para tarefas específicas surgirá no começo dos anos 1990.

O que aconteceu-. O CSR de vocabulário grande específico de domínio só apareceu por volta de 1996. No final de 1997 e no começo de 1998, o CSR de grande vocabulário sem limitação de domínio para ditar documentos escritos (como este livro) foi introduzido comercialmente.¹⁶

- *Previsão:* as três tecnologias necessárias para um telefone tradutor (no qual você fala e escuta em uma linguagem como inglês, e seu interlocutor ouve você e responde em outro idioma, como alemão) CSR, com grande vocabulário e independente do interlocutor (que não requer que um novo interlocutor seja treinado); tradução de idiomas; e síntese de voz existirão em quantidade suficiente para um sistema de primeira geração no final dos anos 1990. Logo, podemos esperar “telefones tradutores com níveis razoáveis de desempenho para, pelo menos, os idiomas mais populares no começo da primeira década do século XXI.”

O que aconteceu: o reconhecimento de voz eficiente e independente do falante, capaz de lidar com uma fala contínua e um grande vocabulário, foi introduzido. A tradução automática de idiomas, que traduz rapidamente websites de um idioma para outro, pode ser encontrada direto no seu browser. Síntese de texto-para-fala para uma grande variedade de idiomas já existe há anos. Todas essas tecnologias rodam em computadores pessoais. Na Lernout & Hauspie (que adquiriu minha empresa de reconhecimento de voz, a Kurzweil Applied Intelligence, em 1997), estamos montando juntos uma demonstração tecnológica de um telefone tradutor. Esperamos que esse tipo de sistema se torne disponível comercialmente no começo da primeira década do século XXI.¹⁷

MINHA VIDA COM AS MÁQUINAS: ALGUNS PONTOS POSITIVOS

Subi ao palco e toquei uma composição em um velho piano vertical. Então, começaram as perguntas tipo sim-ou-não. A ex-Miss Estados Unidos, Bess Myerson, ficou pasma. Mas o astro de cinema Henry Morgan, a segunda celebridade no painel daquele episódio do programa de televisão *I've Got a Secret*, adivinhou meu segredo: a peça que eu havia tocado havia sido composta por um computador que eu havia construído e programado. Mais tarde, naquele mesmo ano, fui levado para conhecer o Presidente Lyndon Johnson com outros vencedores de ciência de segundo grau.

Na faculdade, montei uma pequena empresa, indicando faculdades a garotos de segundo grau, usando

um programa de computador que eu havia escrito. Tivemos de pagar mil dólares por hora para alugar um período de tempo no único computador em Massachusetts com um extraordinário milhão de bytes de memória de núcleo, o que nos permitiu encaixar todas as informações que possuíamos sobre as três mil faculdades do País na memória ao mesmo tempo. Recebemos um monte de cartas de garotos que ficaram maravilhados com as faculdades que nosso programa havia sugerido. Alguns parentes, por outro lado, ficaram furiosos por não termos recomendado Harvard. Foi a minha primeira Experiência com a capacidade que os computadores têm de afetar as vidas das pessoas. Eu vendi aquela empresa para a Harcourt, Brace & World, uma editora de Nova York, e parti para outras ideias.

Em 1974, programas de computador que podiam reconhecer letras impressas, chamados reconhecimento de caracteres ópticos OCR [*optical character recognition*], eram capazes de lidar com apenas um ou dois estilos de tipos especializados. Fundei a Kurzweil Computer Products naquele ano para desenvolver o primeiro programa de **OCR** que conseguisse reconhecer *qualquer* estilo de impressão, o que conseguimos fazer no final daquele ano. Então, a questão passou a ser: para que isso serve? Assim como muitos softwares inteligentes, era uma solução em busca de um problema.

Certa vez, calhei de me sentar, num voo, ao lado de um senhor cego, e ele me explicou que a única deficiência verdadeira que ele sentia era sua incapacidade de ler material impresso normalmente. Estava claro que a incapacidade visual dele não provocava nenhuma dificuldade real nem em se comunicar nem em viajar. Então, eu havia encontrado o problema pelo qual estávamos buscando: podíamos aplicar nossa tecnologia de OCR "omnifonte" (*qualquer* fonte) de modo a superar esse handicap principal de cegueira. Não tínhamos os scanners onipresentes ou os sintetizadores de texto-para-fala que temos hoje, por isso tivemos de criar essas tecnologias também. Ao final de 1975, reuníamos essas três novas tecnologias que havíamos inventado a OCD omnifonte; scanners flat-bed **CCD** (*Charged Coupled Device*), e síntese de texto-para-fala para criar a

primeira máquina de leitura para cegos. A Kurzweil Reading Machine (KRM) era capaz de ler livros e revistas comuns, e outros documentos impressos em voz alta para que um cego pudesse ler o que desejasse.

Nós anunciamos o KRM em janeiro de 1976, e foi como se ele tivesse atingido um nervo. Todos os noticiários noturnos veicularam a história, e Walter Cronkite utilizou a máquina para Ler em voz alta sua assinatura de despedida, "E assim foi o dia de 13 de janeiro de 1976".

Pouco depois do anúncio, fui convidado para o programa de TV *Today*, o que nos deixou um pouco nervosos, pois só tínhamos uma máquina de leitura que funcionava. Claro que a máquina parou de funcionar duas horas antes de eu entrar ao vivo em cadeia nacional. Nosso engenheiro-chefe desmontou a máquina frenético, espalhando peças de equipamento e fios por todo o chão do estúdio. Frank Field, que ia me entrevistar, passou por ali e perguntou se estava tudo bem. "Claro, Frank", eu respondi. "Estamos apenas fazendo alguns ajustes de última hora".

Nosso engenheiro-chefe remontou a máquina de leitura, mas, mesmo assim, ela continuou não funcionando. Por último, ele utilizou o velho método, comprovado pelo tempo, de reparar equipamentos eletrônicos delicados e jogou a máquina de leitura contra uma mesa. Aí ela começou a funcionar que foi

uma beleza. Sua estréia na TV ao vivo aconteceu então sem um defeito sequer.

Stevie Wonder ouviu falar de nossa apresentação no *Today*, e decidiu verificar pessoalmente a história. Nossa recepcionista nem acreditou que a pessoa do outro lado fosse realmente o legendário cantor, mas ela repassou a ligação para mim de qualquer maneira. Convidei-o para ir até lá, e ele experimentou a máquina. Ele nos pediu que fizéssemos uma máquina de leitura só para ele, e então viramos a fábrica de cabeça para baixo para terminar às pressas nossa primeira unidade de produção (não queríamos dar a ele o protótipo que utilizamos no *Today*, pois ele ainda tinha algumas cicatrizes de batalha). Mostramos a Stevie como utilizá-la, e lá se foi ele num táxi levando a sua nova máquina de leitura junto.

Subsequentemente, aplicamos o escaneamento e o OCR omnifonte para usos comerciais, como digitar dados em bancos de dados e nos computadores de processamento de texto que estavam surgindo então. Novos serviços de informações, como o Lexus (um serviço de busca jurídica on-line) e o Nexus (um serviço de notícias), foram construídos utilizando a Kurzweil Data Entry Machine para escanear e reconhecer documentos escritos.

Em 1978, após anos de luta levantando fundos para nosso empreendimento, tivemos a sorte de atrair o interesse e o investimento de uma grande empresa: a Xerox. A maioria dos produtos Xerox transferia informações eletrônicas para o papel. Eles viram o escaneamento e a tecnologia de OCR da Kurzweil como

uma ponte de volta do mundo do papel para o eletrônico, e então, em 1980, compraram a empresa. Você ainda pode comprar o OCR que desenvolvemos originalmente, adequadamente atualizado: ele agora se chama Xerox Text Bridge, e continua como líder de mercado.

Continuei a encontrar Stevie Wonder, e em um de nossos encontros em seu novo estúdio de gravação de Los Angeles, em 1982, ele lamentou como as coisas estavam no mundo dos instrumentos musicais. Por um lado, havia o mundo dos instrumentos acústicos, como piano, violino e violão, que forneciam os ricos e complexos sons de escolha da maioria dos músicos. Embora satisfatórios musicalmente, esses instrumentos sofriam de uma série de limitações. A maioria dos músicos só podia tocar um ou dois instrumentos diferentes. Mesmo que você conseguisse tocar mais de um, não conseguiria tocar mais de um de cada vez. A maioria dos instrumentos só produz uma nota por vez. Os meios disponíveis para formar os sons eram muito limitados.

Por outro lado, existia o mundo dos instrumentos eletrônicos, no qual essas limitações de controle desapareciam. No mundo computadorizado, você podia gravar uma linha de música em um sequenciador, tocá-la novamente, e gravar outra sequência por cima dela, construindo uma composição multiinstrumental linha por linha. Você poderia editar notas erradas sem ter de tocar novamente a sequência inteira. Você poderia colocar vários sons em camadas, modificar suas características sônicas, tocar canções em tempo não real e utilizar uma grande variedade de outras técnicas. Só havia um problema. Os sons com os quais você tinha de trabalhar no mundo eletrônico soavam muito finos, meio que como um órgão, ou um órgão processado eletronicamente.

Não seria ótimo, Stevie devaneou, se pudéssemos utilizar os métodos extraordinariamente flexíveis de controle por computador nos belos sons dos instrumentos acústicos? Pensei a respeito, e parecia viável de fazer; por isso, aquele encontro acabou constituindo a fundação da Kurzweil Music Systems, e definiu sua razão de ser.

Com Stevie Wonder como nosso assessor musical, começamos a combinar esses dois mundos da música. Em junho de 1983, fizemos uma demonstração de um protótipo de Engenharia do Kurzweil 250 (K250) e o introduzimos comercialmente em 1984. o K250 é considerado o primeiro instrumento musical eletrônico a emular com sucesso a complexa resposta sonora de um piano forte e de praticamente todos os outros instrumentos de uma orquestra.

Antes disso, meu pai, que fora um músico conhecido, havia desempenhado um papel no desenvolvimento de meu interesse pela música eletrônica. Antes de sua morte, em 1970, ele me disse que acreditava que um dia eu iria combinar meus interesses em computadores e em música, pois sentia que existia uma afinidade natural entre as duas coisas. Lembro-me de que, quando meu pai queria ouvir uma de suas composições orquestrais, precisava reunir uma orquestra inteira. Isso significava levantar dinheiro, mimeografar cópias de partituras escritas à mão, selecionar e contratar os músicos certos, e arranjar uma sala onde eles pudessem tocar. Depois disso tudo, ele ouvia sua composição pela primeira vez. Deus me livre se ele não gostasse da composição exatamente do jeito que estava, pois então ele teria de despedir os músicos, passar dias reescrevendo partituras modificadas à mão, levantar mais dinheiro, recontratar os músicos e reuni-los todos novamente. Hoje, um músico pode ouvir sua composição multiinstrumental em um Kurzweil ou em outro sintetizador, fazer alterações com a mesma facilidade com que se pode alterar uma carta num editor de texto, e ouvir os resultados no mesmo instante.

Eu vendi a Kurzweil Music Systems para uma empresa coreana, a Young Chang, a maior fabricante de pianos do mundo, em 1990. A Kurzweil Music Systems continua sendo uma das maiores marcas de instrumentos musicais eletrônicos do mundo e é vendida em 45 países.

Também iniciei a Kurzweil Applied Intelligence em 1982, com o objetivo de criar um processador de texto ativado por voz. Esta é uma tecnologia que tem fome de **MIPS** (isto é, velocidade de computador) e megabytes (isto é, memória); por isso, os primeiros sistemas limitavam o tamanho do vocabulário que os usuários podiam empregar. Esses primeiros sistemas também exigiam que os usuários fizessem pequenas pausas entre palavras...de...modo...que...você...precisava... falar...assim. Nós combinamos essa tecnologia de reconhecimento de fala de "palavras discretas (separadas)" com uma base de conhecimentos médicos para criar um sistema que permitisse que médicos criassem seus relatórios médicos simplesmente falando com seus computadores. Nosso produto, chamado Kurzweil VoiceMed (hoje Kurzweil Clinicaí Repórter), na verdade orienta os médicos através do processo de criação de um relatório. Nós também introduzimos um produto de ditado para múltiplas finalidades, chamado Kurzweil Voice, que permitia que os usuários criassem documentos escritos falando uma palavra de cada vez para seu computador pessoal. Este produto se tornou particularmente popular com pessoas que tinham perdido a capacidade de utilizar as mãos.

Justo naquele ano, por cortesia da Lei de Moore, os computadores pessoais se tornaram rápidos o suficiente para reconhecer a fala totalmente contínua, por isso sou capaz de ditar o resto deste livro falando com nosso produto mais recente, chamado Voice Xpress Plus, em velocidades de cerca de cem palavras por

minuto. Naturalmente, não consigo cem palavras escritas por minuto, já que mudo muito de ideia enquanto falo, mas o Voice Xpress não parece se incomodar com isso.

Nós também vendemos essa empresa para a Lernout & Hauspie (**L&H**), uma grande empresa de tecnologia de fala e linguagem, com sede na Bélgica. Pouco depois da aquisição pela L&H, em 1997, fizemos uma aliança estratégica entre a divisão de ditado da L&H (ex-Kurzweil Applied Intelligence) e a Microsoft; portanto, nossa tecnologia de voz provavelmente será usada pela Microsoft em futuros produtos.

A L&H também é líder em síntese texto-para-fala e tradução de linguagem automática; portanto, a empresa hoje tem todas as tecnologias necessárias para um telefone tradutor. Como mencionei acima, estamos reunindo hoje uma demonstração de tecnologia de um sistema que permitirá que você fale em inglês com a pessoa do outro lado ouvindo você em alemão, e vice-versa. No futuro, você será capaz de ligar para qualquer pessoa do mundo e ter o que você diz instantaneamente traduzido para qualquer idioma popular. Naturalmente, nossa capacidade de entender errado uns aos outros permanecerá intocada.

Outra aplicação para nossa tecnologia de reconhecimento de voz, e um de nossos objetivos iniciais, é um dispositivo de audição para os surdos, essencialmente o oposto de uma máquina de leitura para os cegos. Reconhecendo a voz contínua natural em tempo real, o dispositivo permitirá que uma pessoa cega leia o que as pessoas estão dizendo, superando assim o principal problema associado à surdez.

Em 1996, fundei uma nova empresa de tecnologia de leitura chamada Kurzweil Educational Systems, que desenvolveu uma nova geração de software de leitura de impressão-para-fala para pessoas que enxergam mas possuem dificuldades de leitura, além de uma nova máquina de leitura para cegos. A versão para dificuldades de leitura, chamada Kurzweil 3.000, escaneia um documento impresso, exibe a página do jeito que ela aparece no documento original (por exemplo, livro, revista) com todas as cores e figuras intactas. Em seguida, lê o documento em voz alta enquanto realça a imagem da impressão, à medida que está sendo lida. Ele faz essencialmente o que um professor de leitura faz: lê para um pupilo enquanto ressalta exatamente o que está sendo lido.

São as aplicações da tecnologia que beneficiam as pessoas com deficiências que me deram a maior gratificação. Existe um casamento fortuito entre as capacidades dos computadores atuais e as necessidades de uma pessoa com deficiência. Não estamos criando gênios cibernéticos hoje não ainda. A inteligência de nossos computadores inteligentes atuais é estreita, o que pode fornecer soluções eficientes para os estreitos déficits da maioria das pessoas com deficiência. Superar os problemas associados a deficiências utilizando tecnologias de IA é um objetivo que persigo há muito tempo. Com relação às grandes deficiências sensoriais e físicas, acredito que, em duas décadas, chegaremos a anunciar o fim efetivo desse tipo de problema. Como amplificadores do pensamento humano, os computadores têm um grande potencial para auxiliar a expressão humana e expandir a criatividade para todos nós. Espero continuar a desempenhar um papel no controle desse potencial.

Todos esses projetos exigiram a dedicação e o talento de muitos indivíduos brilhantes em uma ampla faixa de áreas. É sempre empolgante ver ou ouvir um produto novo, e ver seu impacto nas vidas de seus usuários. Tem sido um grande prazer compartilhar o processo criativo, e seus frutos, com esses muitos homens e mulheres fantásticos.

O NOVO DESAFIO LUDITA

Antes de mais nada, permitam-nos postular que os cientistas de computadores consigam desenvolver máquinas inteligentes que possam fazer todas as coisas melhores do que os seres humanos possam. Nesse caso, presumivelmente todo o trabalho será feito por vastos e altamente organizados sistemas de máquinas e nenhum esforço humano será necessário. Qualquer um dos dois casos poderia ocorrer. As máquinas poderiam receber a permissão de tomar todas as suas próprias decisões sem supervisão humana, ou o controle humano sobre as máquinas poderia ser conservado.

Se as máquinas tiverem a permissão de tomar todas as suas próprias decisões, não poderemos fazer nenhuma conjectura quanto aos resultados, pois é impossível adivinhar como essas máquinas irão se comportar. Só apontamos que o destino da raça humana estaria à mercê das máquinas. Poderiam argumentar que a raça humana jamais seria tola o bastante para entregar todo o poder às máquinas. Mas não estamos sugerindo nem que a raça humana entregasse voluntariamente o poder para as máquinas nem que as máquinas tomassem o poder de sua vontade. O que sugerimos é que a raça humana poderia facilmente permitir a si mesma escorregar para uma posição de tamanha dependência das máquinas, que não teria escolha prática senão aceitar todas as decisões delas. A medida que a sociedade e os problemas que ela enfrenta se tomarem cada vez mais complexos e as máquinas se tomarem cada vez mais inteligentes, as pessoas deixarão as máquinas tomarem mais decisões por elas, simplesmente porque decisões tomadas por máquinas trarão melhores resultados do que as tomadas pelo homem. No futuro, podemos atingir um estágio em que os seres humanos serão incapazes de tomá-las de modo inteligente. Nessa estágio, as máquinas terão o controle efetivo. As pessoas não serão capazes de simplesmente desligá-las, porque estarão tão dependentes delas que desligá-las seria o equivalente ao suicídio. Por outro lado, é possível que o controle humano sobre as máquinas possa ser conservado. Nesse caso, o homem médio pode ter controle sobre certas máquinas particulares de sua propriedade, como seu carro ou seu computador pessoal, mas o controle sobre grandes sistemas de máquinas estarão nas mãos de uma pequena elite assim como já acontece hoje, mas com duas diferenças. Devido ao aprimoramento das técnicas, as elites terão maior controle sobre as massas; e, como o trabalho humano não será mais necessário, as massas serão supérfluas, um fardo inútil para o sistema. Se a elite for impiedosa, poderá simplesmente decidir exterminar a massa da humanidade. Se for humanitária, poderá usar a propaganda política ou outras técnicas psicológicas ou biológicas para reduzir a taxa de natalidade até que a massa da humanidade seja extinta, deixando o mundo para a elite. Ou, se a elite consistir de liberais de coração mole, eles poderão decidir desempenhar o

papel de bons pastores para o resto da raça humana. Eles cuidarão para que as necessidades físicas de todos sejam satisfeitas, que todas as crianças sejam educadas sob condições higiênicas psicologicamente, que todos tenham um hobby decente para mantê-las ocupadas, e que todos que possam ficar insatisfeitos sofram um “tratamento” para curar seu “problema”. Naturalmente, a vida será tão sem sentido que as pessoas terão de sofrer um processo de Engenharia biológica ou psicológica para remover sua necessidade de poder ou “sublimar” seu impulso de poder em algum hobby inofensivo. Esses seres humanos engenheirados poderão ser felizes numa sociedade dessas, mas certamente não serão livres. Eles terão sido reduzidos ao status de animais domésticos.

- Theodore Kaczynski

Os tecelões de Nottingham desfrutavam um modesto, porém confortável, estilo de vida, derivado de sua próspera indústria artesanal de produção de meias finas e rendas. Isto ocorreu por centenas de anos, período no qual suas estáveis empresas familiares passaram de geração para geração. Mas, com a invenção do tear a vapor e das outras máquinas de automação têxtil do início do século XVIII, o ganha-pão dos tecelões chegou a um fim brusco. O poder econômico passou das famílias dos tecelões para os donos das máquinas.

Dentro desse turbilhão, apareceu um rapaz meio tonto, chamado Ned Ludd, que, segundo a lenda, quebrou duas máquinas têxteis por acidente como resultado de pura falta de jeito. Daquele momento em diante, sempre que equipamentos de fábricas eram encontrados misteriosamente danificados, o possível suspeito do crime dizia logo: “Foi o Ned Ludd.”

Em 1812, desesperados, os tecelões formaram uma sociedade secreta, um exército de guerrilha urbana. Eles faziam ameaças e exigências aos donos de fábricas, muitos dos quais cediam. Quando perguntavam a eles quem era seu líder, respondiam: “O General Ned Ludd, ora.” Embora os luditas, como se tornaram conhecidos, tivessem direcionado Inicialmente a maior parte de sua violência contra as máquinas, uma série de conflitos sangrentos irrompeu no final daquele ano. A tolerância do governo conservador inglês para com os luditas terminou, e o movimento se dissolveu com a prisão e o enforcamento de membros importantes.¹⁸

A capacidade das máquinas de tirar o emprego dos humanos não era um exercício intelectual para os luditas. Eles viram seu meio de vida virar de cabeça para baixo. Não era de muito consolo para os operários saber que haviam sido

criados novos e mais lucrativos empregos no projeto, manufatura e comercialização das novas máquinas. Não existiam programas governamentais para retrainar os tecelões a fim de que se tornassem projetistas de automação.

Embora os luditas não tenham conseguido criar um movimento viável e autossustentado, eles permaneceram como um símbolo poderoso, à medida que as máquinas continuaram a tirar empregos dos trabalhadores humanos. Como um dos muitos exemplos do efeito da automação sobre o emprego, cerca de um terço da população dos EUA estava envolvida na produção de produtos agrícolas no início do século XX. Hoje, esta porcentagem é de cerca de 3%.¹⁹ Não teria sido de muito consolo para os fazendeiros de cem anos atrás ressaltar que os empregos perdidos deles acabariam sendo compensados por novos empregos em uma futura indústria eletrônica, ou que os descendentes deles poderiam se tornar desenvolvedores de software no Vale do Silício.

A realidade dos trabalhos perdidos é, muitas vezes, mais premente do que a promessa indireta de novos empregos, criada em novas e distantes indústrias. Quando agências de publicidade começaram a utilizar sintetizadores Kurzweil a fim de criar as trilhas sonoras para comerciais de televisão, em vez de contratarem músicos ao vivo, o sindicato dos músicos não ficou nem um pouco contente. Nós ressaltamos que a nova tecnologia de música por computador, na verdade, seria benéfica para os músicos porque tornava a música mais empolgante. Por exemplo, filmes industriais que antes usavam música orquestral pré-gravada (pois o orçamento limitado desses filmes não permitia contratar uma orquestra inteira) estavam usando agora música original criada por um músico com um sintetizador. Como se viu depois, não foi um argumento muito eficaz, já que os músicos que tocavam sintetizadores não costumavam estar associados a sindicatos.

A filosofia ludita permanece muito viva como inclinação ideológica, mas como movimento político e econômico ela permanece logo abaixo da superfície dos debates contemporâneos. O público parece compreender que a criação de novas tecnologias alimenta a expansão do bem-estar econômico. As estatísticas demonstram claramente que a automação está criando mais e melhores empregos do que os está eliminando. Em 1870, apenas 12 milhões de americanos, representando cerca de um terço da população civil, tinham emprego. Em 1998, essa cifra subiu para 126 milhões de empregos, ocupados por dois terços da população civil.²⁰ O produto interno bruto per capita e em dólares no valor vigente de 1958 passou de 530 dólares, em 1870, para um valor pelo menos dez vezes maior hoje.²¹ Houve uma mudança comparável no poder de compra real dos empregos existentes. Esse aumento de mil por cento na riqueza real resultou em um padrão de vida bastante melhorado, saúde e educação melhores e uma

capacidade substancialmente aumentada de dar auxílio àqueles que necessitam de ajuda em nossa sociedade. No começo da Revolução Industrial, a expectativa de vida na América do Norte e no noroeste da Europa era de cerca de 37 anos. Agora, dois séculos mais tarde, ela duplicou, e continua a crescer.

Os empregos criados também têm estado em um nível mais elevado. De fato, grande parte dos empregos adicionais têm surgido na área de fornecer a educação mais intensa que os empregos de hoje exigem. Por exemplo: hoje, gastamos dez vezes mais (em dólares constantes) per capita para a educação de escolas públicas do que há um século. Em 1870, apenas 2% dos adultos americanos possuíam diploma de segundo grau, ao passo que a cifra hoje é de mais de 80%. Existiam apenas 52 mil alunos de faculdade, em 1870; hoje, são 15 milhões.

O processo de automação que começou na Inglaterra há dois séculos e continua hoje em um compasso cada vez mais acelerado (conforme a Lei dos Retornos Acelerados) elimina empregos no último degrau da escada de competências e cria novos no degrau superior dessa escada. Daí o aumento nos investimentos em educação. Mas o que acontece quando a escada de competências se expande para além das habilidades da maioria da população humana, e, no fim, além da habilidade de qualquer humano, sem contar com as inovações educacionais?

A resposta que podemos prever, a partir da Lei dos Retornos Acelerados, é que a escada continuará a subir cada vez mais alto, implicando que os humanos precisarão se tornar mais capazes por outros meios. A educação só pode ser conseguida até certo ponto. A única forma que a espécie tem de continuar a acompanhar o ritmo é que os humanos adquiram uma competência maior a partir da tecnologia computacional que criamos, isto é, que a espécie se funda com sua tecnologia.

Nem todos acharão essa perspectiva atraente, então a questão ludita se ampliará no século XXI de uma ansiedade quanto ao ganha-pão humano para uma questão que tenha a ver com a natureza essencial de ser humano. Entretanto, não é provável que o movimento ludita se dê melhor neste novo século do que nos últimos dois. Ele sofre da falta de uma agenda alternativa viável.

Ted Kaczynski, de quem citei trechos de seu chamado “Manifesto do Unabomber”, intitulado *A sociedade industrial e seu futuro*, defende um simples retorno à natureza.²² Kaczynski não está falando de uma visita contemplativa a um Lago Walden do século XIX, mas sobre as espécies abandonarem toda a sua tecnologia e reverterem para uma época mais simples. Embora o que ele disse quanto aos perigos e riscos que vêm acompanhando a industrialização faça um

certo sentido, a visão que ele propõe não é nem atraente nem viável. Afinal, não sobrou muita natureza para a qual retornar, e existem seres humanos demais. Para o melhor ou para o pior, estamos atados à tecnologia.

SEU POETA CIBERNÉTICO ESCRIVE ALGUNS VERSOS INTERESSANTES...

Eu teria interesse em saber quais seriam as suas seleções.

OLHANDO OS PRIMEIROS POEMAS DE SUA COLETÂNEA:

Passo de dança no fundo da página

atravessando a leoa

aninhada em minha alma...

formando joias com a neve que cai...

o suco da eternidade/o espírito de meus lábios...

MAS OS POEMAS NEM SEMPRE TÊM UM SENTIDO COMPLETO, SE VOCÊ ENTENDE O QUE QUERO DIZER.

Sim, os leitores toleram um pouco mais de descontinuidade em verso do que em prosa. O problema fundamental é a incapacidade dos artistas cibernéticos contemporâneos em dominar os níveis de contexto de que os artistas humanos são capazes. Não é uma limitação permanente, claro. Em última análise, nós é que teremos dificuldade de acompanhar o nível de profundidade de contexto de que a inteligência de computador é capaz de...

SEM ALGUMA AJUDA...

De extensões computadorizadas para a nossa inteligência, sim, exatamente. Nesse meio tempo, o Poeta Cibernético atua bem como um assistente inspiracional. Embora seus poemas nem sempre cheguem lá, ele tem uma certa força real para encontrar viradas de frase únicas. Então, o programa tem um modo chamado O Assistente do Poeta. O usuário humano escreve um poema em uma janela de editor de texto. O Assistente do Poeta o observa escrevendo e preenche o resto da tela com sugestões, como, por exemplo, “Robert Frost terminaria esse verso da seguinte maneira”, ou “eis aqui um conjunto de rimas e/ou aliterações que Keats usava com essa palavra”, ou “eis aqui como Emily Dickinson terminaria esse poema”, e assim por diante. Se a máquina tivesse acesso aos próprios poemas do autor humano, poderia até mesmo sugerir como o próprio usuário finalizaria um verso ou poema. Todas as vezes em que você escrever outra palavra, obterá dezenas de ideia. Nem todas farão sentido, mas é uma boa solução para bloqueio criativo. E você é bem-vindo para roubar as ideia dele.

AGORA, COM RELAÇÃO ÀS PINTURAS DE COHEN...

Você quer dizer as pinturas de Aaron...

AH, ACHO QUE NÃO ESTOU SENDO SENSÍVEL AOS SENTIMENTOS DE AARON...

Já que ele não tem sentimentos...

AINDA NÃO, CERTO? MAS O QUE EU IA DIZER ERA QUE AS PINTURAS DE AARON PARECEM MANTER SEU CONTEXTO. A COISA TODA MEIO QUE FUNCIONA PARA MIM.

Sim, o Aaron de Cohen é provavelmente o melhor exemplo de artista visual cibernético hoje, e certamente é um dos principais exemplos dos computadores nas artes. Cohen programou milhares de regras sobre todos os aspectos de desenho e pintura, desde a natureza artística de pessoas, plantas e objetos pintados até composição e outros tipos de opções.

Não se esqueça de que Aaron não procura emular outros artistas. Ele possui seu próprio conjunto de estilos; portanto, é viável para sua base de conhecimento ser relativamente completo dentro de seu domínio visual. Naturalmente, artistas humanos, até mesmo artistas brilhantes, também têm limites em seu domínio. Aaron é bastante respeitável na diversidade de sua arte.

OK, SÓ PARA TROCARMOS PARA ALGUÉM MUITO MENOS RESPEITÁVEL, VOCÊ CITOU TED KACZYNSKI FALANDO SOBRE COMO A RAÇA HUMANA PODERIA CAMINHAR PARA A DEPENDÊNCIA DAS MÁQUINAS, E ENTÃO NÃO TEREMOS ESCOLHA SENÃO ACEITAR TODAS AS DECISÕES DAS MÁQUINAS. COM BASE NO QUE VOCÊ DISSE SOBRE AS IMPLICAÇÕES DE TODOS OS COMPUTADORES PARANDO, SERÁ QUE JÁ NÃO CHEGAMOS LÁ?

Certamente já chegamos lá com relação à dependência, mas ainda não com relação ao nível da inteligência de máquina.

AQUELA CITAÇÃO FOI SURPREENDENTEMENTE...

Coerente?

SLM, ESTA ERA A PALAVRA QUE EU ESTAVA PROCURANDO.

O manifesto de Kaczynski era muito bem escrito; nem um pouco o que se esperaria, devido ao retrato popular que temos dele como um louco. Como o professor de Ciências Políticas James Q. Wilson, da Universidade da Califórnia, escreveu: “A linguagem é clara, precisa e calma. O argumento é sutil e cuidadosamente desenvolvido; nele não há nada que nem de longe lembre as afirmações desconexas ou especulações irracionais que um lunático poderia desenvolver.” E ele conseguiu muitos seguidores entre anarquistas e

antitecnólogos na Internet...

QUE É A PONTA DE LANÇA DA TECNOLOGIA.

Sim, essa ironia não deixou de ser notada.

MAS POR QUE CITAR KACZYNSKI? QUERO DIZER...

O manifesto dele é uma exposição tão persuasiva sobre a alienação psicológica, o deslocamento social, os danos ambientais e outros problemas e perigos da era tecnológica quanto qualquer outro...

NÃO FOI O QUE EU QUIS DIZER. DUVIDO QUE OS LUDITAS ESTEJAM GOSTANDO DE TÊ-LO COMO SÍMBOLO DAS IDEIAS DELES. VOCÊ ESTÁ MEIO QUE DESACREDITANDO O MOVIMENTO DELES, USANDO-O COMO PORTA-VOZ DELES.

Ok, essa objeção é legítima. Suponho que eu pudesse defender minha citação extensa como um exemplo importante de um fenômeno relevante, o que é o luditismo violento. O movimento começou com violência, e o desafio à raça humana proposto pelas máquinas é fundamental o bastante para que uma reação violenta durante este novo século seja uma forte possibilidade.

MAS SEU USO DA CITAÇÃO PARECEU MAIS DO QUE APENAS UM EXEMPLO DE ALGUM FENÔMENO PERIFÉRICO.

Fiquei surpreso com a quantidade de pontos no manifesto de Kaczynski com os quais concordei.

COMO, POR EXEMPLO...

Ah, então agora você está interessado.

FOI MEIO QUE INTRIGANTE, E TEM A VER COM AS OUTRAS COISAS QUE VOCÊ ESTAVA ME DIZENDO.

Sim, eu achei que sim. Kaczynski descreve os benefícios da tecnologia, bem como seus custos e perigos. Então ele diz onde quer chegar:

Outra razão pela qual a sociedade industrial não pode ser reformada em favor da liberdade é que a tecnologia moderna é um sistema unificado no qual todas as partes são dependentes uma da outra. Você não pode se livrar das partes “ruins” da tecnologia e conservar apenas as partes “boas”. A medicina moderna, por exemplo. O progresso na ciência médica depende do progresso na química, na física, na biologia, na informática e em outras áreas. Tratamentos médicos avançados requerem equipamentos caros de alta tecnologia que só podem ser disponibilizados por uma sociedade tecnologicamente progressiva e economicamente rica. Obviamente, não se pode ter muito progresso na medicina sem todo o sistema tecnológico e tudo o que o acompanha.

Até aqui, tudo bem. Aí ele comete o julgamento básico de que as “partes ruins” são maiores em número do que as “partes boas”. Não que seja uma posição

maluca, mas, mesmo assim, é aí que eu e ele discordamos. Agora, eu não acho que a humanidade acabará lamentando seu caminho tecnológico. Embora os riscos sejam bastante reais, minha crença fundamental é de que os ganhos potenciais valham a pena o risco. Mas esta é uma crença; não é uma posição que eu possa demonstrar com facilidade.

EU ESTARIA INTERESSADA EM SUA VISÃO DOS GANHOS.

Os ganhos materiais são óbvios: o avanço econômico, a formação de recursos materiais para atender a necessidades antiquíssimas, a extensão de nossas vidas, melhorias na saúde e assim por diante. Entretanto, não é a questão principal que quero levantar.

Eu vejo a oportunidade para expandir nossas mentes, ampliar nosso aprendizado e aprimorar nossa capacidade de criar e compreender conhecimento como uma busca espiritual essencial. Feigenbaum e McCorduck falam sobre isso como um “embarque audacioso, alguns diriam irresponsável, rumo a um território sagrado.”

ENTÃO, ESTAMOS ARRISCANDO A SOBREVIVÊNCIA DA RAÇA HUMANA POR ESSA BUSCA ESPIRITUAL?

Basicamente, sim.

NÃO ESTOU SURPRESA COM O FATO DE OS LUDITAS TEREM RESOLVIDO DAR UM TEMPO.

E claro que você precisa ter em mente o fato de que são os ganhos materiais, não os espirituais, que estão seduzindo a sociedade para esse caminho.

AINDA NÃO ESTOU MUITO À VONTADE COM KACZYNSKI COMO PORTA-VOZ. ELE É UM ASSASSINO CONFESSO, VOCÊ SABE DISSO.

Certamente, estou feliz por ele estar atrás das grades, e as táticas dele merecem condenação e castigo. Infelizmente, o terrorismo é eficiente, e é por isso que sobrevive.

NÃO VEJO DESSA MANEIRA. O TERRORISMO APENAS DIMINUI AS POSIÇÕES QUE ESTÃO SENDO ANUNCIADAS. ENTÃO, AS PESSOAS VÊEM AS PROPOSIÇÕES DO TERRORISTA COMO LOUCAS, OU PELO MENOS MAL ORIENTADAS.

Esta é uma das reações. Mas lembre-se da sociedade da mente. Temos mais de uma reação ao terrorismo.

Um contingente em nossas cabeças diz “estas ações foram más e loucas, por isso a tese do terrorista também deve ser má e louca.” Mas outro contingente em nossas cabeças assume a posição de que “aquelas ações foram extremadas, portanto ele deve ter sentimentos muito fortes a esse respeito. Talvez haja alguma coisa aí. Talvez uma versão mais moderada do ponto de vista dele seja

legítima”.

PARECE COM A PSICOLOGIA DA “GRANDE MENTIRA” DE HITLER.

Existe uma semelhança. No caso de Hitler, tanto as táticas quanto os pontos de vista foram extremados. No caso dos terroristas modernos, as táticas são extremadas; os pontos de vista podem ou não sê-lo. No caso de Kaczynski, muitos aspectos de sua argumentação são razoáveis. E claro que ele acabou num ponto extremo.

SIM, UMA CABANA PRIMITIVA EM MONTANA.

E onde o manifesto dele acaba também: todos nós deveríamos retomar à natureza.

NÃO ACHO QUE AS PESSOAS ACHEM O CONCEITO DE NATUREZA DE KACZYNSKI MUITO ATRAENTE, PELO MENOS NÃO A JULGAR PELAS FOTOS DA CABANA DELE.

E, como eu disse, não existe natureza suficiente para se ir mais hoje em dia. **GRAÇAS À TECNOLOGIA.**

E à explosão populacional...

TAMBÉM FACILITADA PELA TECNOLOGIA.

Então ultrapassamos o ponto de não-retorno. Já é tarde demais para voltarmos pela rota da natureza.

ENTÃO, QUE CURSO VOCÊ RECOMENDA?

Diria que não deveríamos ver o avanço da tecnologia como apenas uma força inexorável e imperativa.

ACHEI QUE VOCÊ HAVIA DITO QUE O AVANÇO ACELERADO DA TECNOLOGIA E DA COMPUTAÇÃO ERA INEXORÁVEL. LEMBRE-SE DA LEI DOS RETORNOS ACELERADOS?

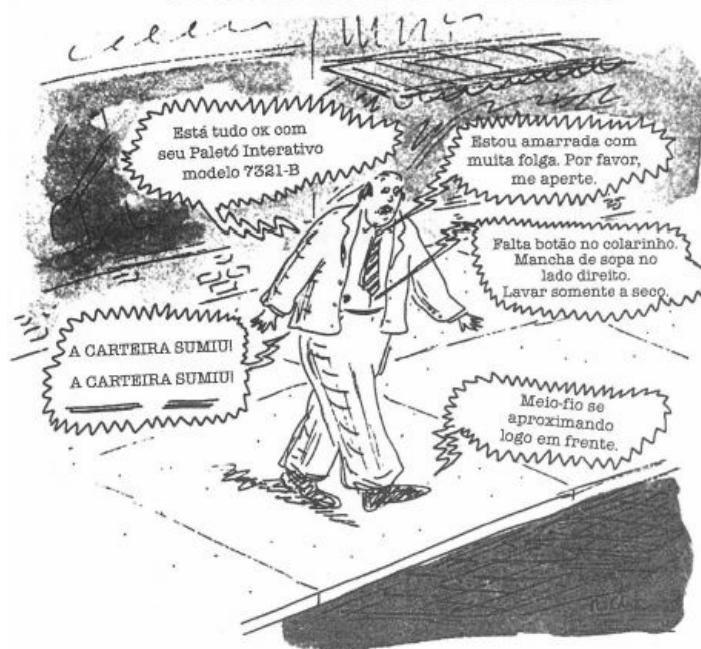
Ah, sim, o avanço é realmente inexorável, não vamos deter a tecnologia. Mas temos algumas escolhas. Temos a oportunidade de moldar a tecnologia e canalizar sua direção. Eu tentei fazer isso em meu próprio trabalho. Podemos atravessar a floresta com cuidado.

É MELHOR TRABALHARMOS LOGO; PARECE QUE EXISTEM MUITAS ENCOSTAS ESCORREGADIAS LÁ FORA ESPERANDO POR NÓS.

PARTE TRÊS: ENCARANDO O FUTURO

APRESENTANDO...

A ROUPA INTERATIVA



Capítulo Nove

2009

Desde que me entendo por gente, queria ter tido a sorte de estar vivo em um grande momento histórico quando alguma coisa grande estivesse ocorrendo, como uma crucifixão. E, de repente, percebi que já estava.

- **Ben Shahn**

Como dizemos na indústria de informática: shift happens (Trocadilho chulo com a expressão shit happens [merdas acontecem] e a tecla Shift, dos PCS tipo IBM.
- N. do T.).

- **Tim Romero**

Dizem que as pessoas superestimam o que pode ser realizado em curto prazo e subestimam as mudanças que irão ocorrer em longo prazo. Com o ritmo da mudança em constante aceleração, podemos considerar que até mesmo a primeira década do século XXI já constitui uma visão em longo prazo. Com isto em mente, vamos começar a imaginar o começo do próximo século.

O computador propriamente dito

Estamos, agora, em 2009. A maior parte dos indivíduos utiliza computadores portáteis, que se tornaram muito mais finos e leves que os *notebooks* de dez anos antes. Os computadores pessoais se encontram disponíveis em uma grande variedade de tamanhos e formatos, e estão comumente embutidos nas roupas e em joias, como relógios de pulso, anéis, brincos e outros ornamentos corporais. Computadores com interfaces visuais de alta resolução vão de anéis e alfinetes de lapela a cartões de crédito, até o tamanho de um livro fino.

As pessoas costumam trazer pelo menos uma dúzia de computadores dentro ou ao redor de seus corpos, que formam redes utilizando LANs (redes de área local) corporais.¹ Estes computadores fornecem instalações de comunicação semelhantes às dos telefones celulares, pagers e navegadores de rede, monitoram funções corporais, apresentam identificação automática (para realizar transações financeiras e permitir entrada em áreas de segurança), dão orientações para navegação e uma grande variedade de outros serviços.

Em sua maior parte, estes computadores realmente pessoais não apresentam partes móveis. Sua memória é completamente eletrônica, e a maioria dos

computadores portáteis já não emprega mais teclados.

Memórias rotativas (isto é, memórias de computador que utilizam cilindros rotativos, como discos rígidos, CD-ROMs e DVDs) já estão começando a entrar em decadência, embora memórias magnéticas rotativas ainda sejam utilizadas por servidores, onde grandes quantidades de informação são armazenadas. A maior parte dos usuários possui servidores em suas próprias casas e escritórios, nos quais mantêm grandes estoques de “objetos” digitais, incluindo seu próprio software, suas bases de dados, documentos, músicas, filmes e ambientes de realidade virtual (ainda que estes últimos se encontrem apenas em seus estágios iniciais). Existem serviços para manter os objetos digitais pessoais em repositórios centrais, mas a maioria das pessoas prefere manter suas informações privadas sob seu próprio controle físico.

Os cabos estão desaparecendo.² A comunicação entre componentes, tais como dispositivos indicadores, microfones, telas, impressoras e um teclado ocasional, utiliza tecnologia wireless de curta distância.

Os computadores utilizam a tecnologia wireless de forma rotineira, a fim de se conectarem na onipresente rede de alcance mundial, fornecendo comunicação confiável, de largura de banda muito alta e instantaneamente disponível. Os objetos digitais, como livros, álbuns de música, filmes e softwares são rapidamente distribuídos ao longo da rede sem fio e não costumam possuir um objeto físico associado a eles.

A maioria dos textos é criada por meio da utilização de reconhecimento de fala contínua (CSR), um software para tradução de ditado, embora os teclados ainda sejam utilizados. O CSR é muito preciso, muito mais do que os humanos que faziam as transcrições apenas alguns anos antes.

Também são ubíquas as interfaces de linguagem de usuário LUI [*language user interfaces*], que combinam CSR com a compreensão da linguagem natural. Para assuntos de rotina, como simples transações comerciais e solicitações de informações, as LUIs são bastante precisas e têm grande capacidade de resposta. Entretanto, tendem a lançar um foco estreito sobre tipos muito específicos de tarefas. As LUIs costumam ser combinadas a personalidades animadas. A interação com uma personalidade animada para realizar uma compra ou fazer uma reserva é semelhante a falar com pessoas utilizando videoconferência, só que a pessoa é simulada.

As telas dos computadores têm todas as qualidades de apresentação do papel: alta resolução, alto contraste, ângulo amplo de visão e nenhuma cintilação. Livros, revistas e jornais costumam ser agora lidos normalmente em telas, que são do tamanho de livros pequenos.

Telas de computador embutidas em óculos também são utilizadas. Esses óculos especializados permitem aos usuários enxergar o ambiente visual normal, ao mesmo tempo em que criam imagens virtuais, que parecem flutuar à frente do observador. As imagens virtuais são criadas por um minúsculo laser embutido nos óculos, que projeta as imagens diretamente nas retinas do usuário.³

Os computadores costumam incluir câmeras de vídeo e são capazes de identificar confiavelmente seus proprietários por intermédio da análise de suas faces.

Em termos de circuitos, chips tridimensionais são de uso comum, e já está acontecendo uma substituição dos antigos chips de camada única.

Os alto-falantes para produção de som estão sendo substituídos por dispositivos muito pequenos baseados em chips, que podem projetar som de alta resolução em qualquer lugar de um espaço tridimensional. Esta tecnologia é baseada na criação de sons dentro da frequência audível do espectro criadas pela interação de tons de frequência muito alta. Como resultado, caixas de som muito pequenas podem produzir sons tridimensionais muito robustos.

Um computador pessoal de mil dólares (no valor do dólar de 1999) é capaz de realizar um trilhão de cálculos por segundo.⁴ Os supercomputadores correspondem, no mínimo, à capacidade de hardware do cérebro humano 20 trilhões de cálculos por segundo.⁵ O espaço não utilizado dos computadores ligados à Internet está sendo aproveitado, com o objetivo de criar supercomputadores virtuais, em paralelo com a capacidade de hardware do cérebro humano.

Há um interesse cada vez maior em redes neurais maciçamente paralelas, algoritmos genéticos e outras formas de computação “caótica”, ou da teoria da complexidade, ainda que a maior parte da computação dos computadores ainda seja feita pela utilização de processamento sequencial convencional, e com processamento paralelo limitado.

Já foi iniciada a pesquisa para se conhecer o cérebro humano por intermédio de Engenharia reversa, tanto através do escaneamento destrutivo dos cérebros de pessoas recentemente falecidas como por varreduras não invasivas, utilizando imagens por ressonância magnética (MRI ou *magnetic resonance imaging*) de alta resolução de pessoas vivas.

Máquinas autônomas produzidas por nanoEngenharia (isto é, máquinas construídas átomo por átomo e molécula por molécula) já foram demonstradas e incluem seus próprios controles computacionais. Entretanto, a nanoEngenharia ainda não é considerada uma tecnologia prática.

Educação

No século XX, a maioria dos computadores escolares não servia para muita coisa, e a maior parte da aprendizagem efetiva em computadores acontecia em casa. Agora, em 2009, embora as escolas ainda não utilizem tecnologia de ponta, a profunda importância do computador como ferramenta de aquisição de conhecimento é amplamente reconhecida. Os computadores exercem um papel central em todas as facetas da educação, assim como em outras esferas da vida.

A maior parte da leitura é feita em telas, embora a “base instalada” de documentos de papel ainda seja formidável. Entretanto, a geração de documentos de papel está diminuindo à medida que os livros e outros documentos impressos, em sua maioria no século XX, estão sendo rapidamente copiados e armazenados eletronicamente. A maior parte dos documentos, por volta de 2009, inclui sons e imagens de vídeo embutidos.

A maioria dos estudantes de todas as idades tem seus próprios computadores, que agora é um dispositivo fino como uma tabuleta, pesa menos de um quilo e possui uma tela de resolução muito alta, adequada para leitura. Os estudantes interagem com seus computadores principalmente por voz, ou apontando para eles com um dispositivo que parece um lápis. Ainda existem teclados, mas a maior parte da linguagem textual é criada através da fala. Os materiais de leitura são acessados através de comunicação wireless.

Programas inteligentes para cursos escolares emergiram como uma forma comum de aprendizagem. Estudos recentes, e ainda controversos, demonstraram que os estudantes podem aprender habilidades básicas como leitura e matemática tão facilmente através de softwares de aprendizagem interativa quanto com professores humanos, em particular quando a proporção de alunos para professores humanos é mais alta do que um para um. Embora esses estudos tenham sofrido críticas pesadas, muitos estudantes e seus pais já aceitaram este conceito há anos. O modo tradicional de professores humanos instruindo um grupo de crianças ainda é o dominante, mas as escolas estão confiando cada vez mais em abordagens via software, deixando aos professores humanos principalmente as tarefas de motivação, bem-estar psicológico e socialização. Muitas crianças aprendem a ler sozinhas, utilizando seus computadores pessoais antes mesmo de ingressarem na escola primária.

As crianças de pré-escolar e primário leem, em seu próprio nível intelectual, utilizando software de leitura impressa para voz até que seu nível de leitura alcance o da escrita. Estes sistemas de leitura impressa para voz apresentam a imagem completa de documentos e são capazes de ler em voz alta o que se encontra impresso, ao mesmo tempo em que ressaltam as palavras que estão sendo lidas. As vozes sintéticas soam exatamente como se fossem humanas.

Embora alguns educadores tenham expressado sua preocupação nos primeiros anos do século, no sentido de que os alunos irão se basear indevidamente no software de leitura, tais sistemas foram facilmente aceitos por crianças e seus pais. Estudos demonstraram que os alunos desenvolvem suas habilidades de leitura mais depressa quando são expostos a uma apresentação de texto visual e auditiva sincronizada.

A aprendizagem à distância (por exemplo, conferências e seminários em que os participantes se encontram geograficamente espalhados) é comum agora.

A aprendizagem vem se tornando parte significativa da maior parte dos empregos. O treinamento e o desenvolvimento de novas habilidades vêm emergindo como uma responsabilidade permanente da maior parte das carreiras, e não simplesmente como um suplemento ocasional, porque o nível de habilidades requeridas para os empregos de maior significado tem subido cada vez mais.

Deficiências

As pessoas portadoras de deficiências estão rapidamente superando suas dificuldades por meio da tecnologia inteligente de 2009. Alunos com problemas de leitura rotineiramente melhoram seu desempenho, utilizando sistemas de leitura impressão-para-fala.

As máquinas de leitura impressa para voz, especiais para cegos, são agora dispositivos muito pequenos e baratos, que cabem na palma da mão, capazes de ler livros (aqueles que ainda existirem em papel) e outros documentos impressos, além de outros textos do mundo real, como sinais de trânsito e telas. Esses sistemas de leitura são igualmente úteis na leitura dos trilhões de documentos eletrônicos que se acham instantaneamente disponíveis através da onipresente rede sem fio mundial.

Depois de décadas de tentativas malsucedidas, foram introduzidos dispositivos úteis de navegação capazes de ajudar os cegos a evitar os obstáculos físicos que se encontram em seu caminho e a passar ao lado deles, utilizando a tecnologia do sistema de posicionamento global (**GPS**). Um cego pode interagir com seus sistemas de navegação e leitura pessoais através de comunicação de voz de mão dupla, tal como se tivessem um cão-guia capaz de ler e de falar.

As pessoas surdas ou qualquer pessoa com alguma deficiência auditiva comumente usam máquinas de escuta fala-para-impressão, que apresentam uma transcrição em tempo real daquilo que as pessoas estão dizendo. O usuário surdo tem a escolha de ou ler a transcrição da voz como texto mostrado em sua tela ou ver a animação de uma pessoa projetada, gesticulando em linguagem de sinais.

Estas técnicas eliminaram a principal dificuldade de comunicação associada com a surdez. As máquinas de escuta também podem traduzir o que está sendo dito em outra linguagem, igualmente em tempo real, de tal modo que são também de uso corrente em pessoas capazes de ouvir bem.

Dispositivos ortóticos controlados por computador foram introduzidos. Estas “máquinas de caminhar” permitem que paraplégicos possam andar e subir escadas. Os dispositivos protéticos ainda não são utilizados por todos os paraplégicos, porque muitos deficientes apresentam articulações disfuncionais devido a anos de falta de uso. Contudo, o advento de sistemas ortopédicos de caminhar está dando a eles uma maior motivação para se submeterem à substituição cirúrgica dessas articulações.

Há uma percepção crescente de que as disfunções primárias da cegueira, surdez e dificuldades físicas não significam necessariamente defeitos. As pessoas deficientes costumam descrever agora suas deficiências como sendo apenas inconveniências. A tecnologia inteligente tornou-se a grande niveladora.

Comunicação

A tecnologia de tradução telefônica (em que você fala em inglês e seu amigo nipônico o escuta em japonês e vice-versa) é comumente usada para muitos pares de linguagens. É uma capacidade rotineira do computador pessoal de qualquer indivíduo, que também serve como seu telefone.

A comunicação “telefônica” tornou-se principalmente sem fio, e costuma incluir imagens de vídeo de alta resolução. Reuniões de todos os tipos e tamanhos também transcorrem rotineiramente entre participantes geograficamente separados.

Há uma convergência efetiva, pelo menos no nível de hardware e software de apoio, em todos os meios de comunicação, que existem como objetos digitais (isto é, arquivos), distribuídos pela onipresente rede mundial sem fio de alta largura de banda. Os usuários podem baixar instantaneamente livros, revistas, jornais, televisão, rádio, filmes e outras formas de software para seus dispositivos de comunicação pessoais altamente portáteis.

Praticamente toda a comunicação tornou-se digital e codificada, com chaves públicas disponíveis para as autoridades governamentais. Muitos indivíduos e grupos, incluindo porém não limitados a organizações criminosas, utilizam uma camada adicional de códigos de codificação virtualmente indecifráveis, dos quais nenhuma terceira parte pode possuir a chave de acesso.

Tecnologias hápticas começaram a emergir, a fim de permitir às pessoas tocarem e sentirem objetos ou outras pessoas à distância. Estes dispositivos de

force-feedback são amplamente usados para jogos e sistemas de treinamento simulado.

Os jogos interativos incluem de forma rotineira ambientes visuais e auditivos de abrangência total, embora um ambiente tátil totalmente satisfatório e abrangente, ainda não se encontre disponível. As salas de conversação on-line do final da década de 1990 foram substituídas por ambientes virtuais em que você pode encontrar as pessoas com realismo visual total.

As pessoas têm Experiências sexuais à distância com outras pessoas, do mesmo modo que com parceiros virtuais. Mas a falta do ambiente tátil capaz de “cercar” totalmente o usuário manteve o sexo virtual, ao menos por enquanto, fora do alcance da maioria das pessoas. Parcerias virtuais são formas populares de diversão sexual, mas são mais brincadeiras do que realidade. E os telefonemas eróticos são muito mais populares agora que os telefones rotineiramente incluem imagens em movimento em tempo real e de alta resolução da pessoa que se encontra do outro lado.

Negócios e economia

Apesar de correções ocasionais, os dez anos que levaram até 2009 assistiram a uma contínua expansão econômica e de prosperidade, devido ao predomínio do conteúdo de conhecimentos contidos em produtos e serviços. Os maiores ganhos de valores continuam a ser obtidos no mercado de ações. A deflação dos preços preocupou os economistas no começo da década, mas rapidamente perceberam que, afinal de contas, isso era uma coisa boa. A comunidade de alta tecnologia demonstrou que uma significativa deflação já vinha existindo nas indústrias de hardware e de software durante muitos anos, sem detrimentos à economia.

Os Estados Unidos continuam a ser o líder da economia mundial, devido à primazia na cultura popular e a seu ambiente empresarial. Como os mercados de informação se tornaram, em grande parte, mercados mundiais, os Estados Unidos se beneficiaram grandemente de seu histórico de imigração. Já que sua população é composta por elementos de todos os povos do mundo especialmente pelos descendentes de pessoas ao redor do mundo que correram grandes riscos em busca de uma vida melhor -, possui a herança ideal para a nova economia baseada no conhecimento. A China também emergiu como um poderoso participante na área econômica. A Europa se encontra vários anos à frente do Japão e da Coreia na adoção da ênfase americana em capital de investimento, opções aos empregados para compra de ações das companhias e políticas tributárias que incentivam os empresários particulares, embora estas práticas já venham se tornando populares ao redor do mundo.

Pelo menos metade de todas as transações são realizadas on-line. Assistentes inteligentes, que combinam reconhecimento de fala contínua, compreensão da linguagem natural, resolução de problemas e personalidades animadas auxiliam as pessoas de forma rotineira, descobrindo informações, respondendo a perguntas e conduzindo transações. Os assistentes inteligentes se transformam em uma interface primária para interagir sobre os serviços baseados em informações, com um amplo espectro de escolhas disponível. Uma pesquisa recente demonstrou que os usuários de ambos os sexos preferem personalidades femininas como seus assistentes inteligentes baseados em computadores. Os dois assistentes inteligentes mais populares são Maggie, que afirma ser garçonete em um café da Harvard Square, e Michelle, que declara ser dançarina de *strip-tease* em New Orleans. Especialistas em projeção de personalidades se encontram em alta demanda e este campo constitui uma área de desenvolvimento de software em constante desenvolvimento.



A maioria das compras de livros, álbuns musicais, vídeos, jogos eletrônicos e outras formas de software não envolve quaisquer objetos físicos, de modo que logo emergiram novos modelos comerciais para a distribuição destas formas de informação. As pessoas adquirem estes objetos de informação “passeando” por shopping centers virtuais, examinando e escolhendo seus objetos de interesse, conduzindo transações financeiras rapidamente (e em segurança) on-line, depois rapidamente baixando as informações através do uso de comunicação sem fio de

alta velocidade. Existem muitos tipos e gradações de transações para se obter acesso a estes produtos. Você pode “comprar” um livro, um álbum musical, vídeo etc., o que lhe permite acesso permanente e ilimitado. Como alternativa, você pode alugar um espaço de acesso para ler, olhar ou escutar uma única vez ou diversas, se preferir. Ou você pode alugar por minuto. O acesso pode ser limitado a uma pessoa ou a um grupo (por exemplo, uma família ou uma companhia). De forma alternativa, o acesso pode ser limitado a um computador em particular ou a qualquer computador que venha a ser acessado por uma pessoa em particular ou por um conjunto de pessoas.

Há uma forte tendência à separação geográfica dos grupos de trabalho. As pessoas estão trabalhando juntas com pleno sucesso, apesar de viverem e, realmente, trabalharem em lugares diferentes.

A residência média tem mais de cem computadores, a maioria dos quais embutidos em eletrodomésticos ou em sistemas de comunicação interna. Já existem robôs domésticos, mas sua aceitação é ilimitada.

Estradas inteligentes já se encontram em uso, especialmente para viagens longas. Assim que o sistema de orientação do computador de seu carro se fixa nos sensores de controle de uma destas autoestradas, você pode se reclinar e descansar. As estradas locais, todavia, ainda são predominantemente convencionais.

Uma companhia a oeste do Mississippi e ao norte da Linha Mason-Dixon ultrapassou 1 trilhão de dólares em capitalização de mercado.

Política e sociedade

A privacidade emergiu como uma questão política fundamental. O uso praticamente constante das tecnologias de comunicação eletrônica está deixando uma trilha altamente detalhada de todas as ações de cada pessoa. Tem havido muitos litígios, que colocaram algumas restrições sobre a ampla distribuição de dados pessoais. Apesar disso, os órgãos governamentais continuam a ter o direito de obter acesso aos arquivos pessoais da população, o que resultou em uma grande popularidade das tecnologias de codificação indecifrável.

Há um crescente movimento neoludita, à medida que a escada de habilidades continua a subir cada vez mais. Do mesmo modo que ocorreu com os antigos movimentos luditas, sua influência é limitada pelo nível de prosperidade possibilitado pela nova tecnologia. Mas o movimento obteve de fato um certo sucesso em estabelecer a educação continuada como um direito básico associado ao emprego.

Há uma preocupação contínua com uma classe desfavorecida que a escala de

habilidades deixou muito para trás. Entretanto, o tamanho dessa classe parece ser estável. Embora essas medidas não sejam politicamente populares, a classe baixa é politicamente neutralizada por meio da assistência pública e do nível de prosperidade geralmente elevado.

As artes

A alta qualidade das telas dos computadores e a instalação de software de apresentação visual assistido por computador tornaram a tela dos computadores pessoais um meio preferencial para as artes visuais. A maior parte da arte visual é o resultado de uma colaboração entre artistas humanos e seu software artístico inteligente. Pinturas virtuais displays de alta resolução pendurados nas paredes tornaram-se populares. Em vez de sempre apresentarem o mesmo trabalho de arte, como acontece com uma pintura convencional ou com um cartaz, estas pinturas virtuais podem mudar a obra que está sendo apresentada através de um comando verbal do usuário ou podem apresentar coleções de arte de maneira cíclica. As obras de arte mostradas podem ser trabalhos de artistas humanos ou arte original criada em tempo real por um software artístico cibernético.

Músicos humanos fazem *jam sessions* com músicos cibernéticos constantemente. A criação de música se tornou disponível para pessoas que não tem formação musical. A criação de música não requer necessariamente a coordenação motora fina dos instrumentos musicais tradicionais. Sistemas de criação musical cibernéticos permitem às pessoas que apreciam música, mas não conhecem teoria da música e nunca a praticaram, criar música em colaboração com seu software de composição automática. A música interativa gerada pelo cérebro, que cria uma ressonância entre as ondas cerebrais do usuário e a música que está sendo escutada, tornou-se outro gênero popular.

É normal para os músicos usar controladores eletrônicos que emulam a maneira de tocar dos velhos instrumentos acústicos (por exemplo, piano, violão, violino, bateria), mas existe um interesse crescente nos novos controladores “aéreos”, com os quais você pode criar música movendo suas mãos, seus pés, sua boca e outras partes de seu corpo. Outros controladores musicais envolvem a interação com dispositivos especialmente projetados.

Os escritores utilizam processadores de texto ativados por voz; os corretores gramaticais finalmente se tornaram úteis de verdade; a distribuição de documentos escritos, de artigos a livros, tipicamente não envolve papel e tinta. A melhoria do estilo e o software de revisão automática são amplamente usados para melhorar a qualidade da escrita. O software de tradução de idiomas também é amplamente usado para traduzir obras escritas em uma grande variedade de

línguas. Não obstante, o processo central da criação da linguagem escrita é menos afetado pelas tecnologias de software inteligente que as artes visuais e musicais. Todavia, os autores “cibernéticos” estão surgindo.

Além da gravação de música, imagens e vídeos de filmes, o tipo de objetos de entretenimento que se vem tornando mais popular é o software de Experiência virtual. Estes ambientes virtuais interativos permitem que você pratique canoagem em rios virtuais, voe de planador sobre um Grand Canyon virtual ou participe de encontros íntimos com sua favorita estrela de cinema. Os usuários também experimentam ambientes fantásticos que não possuem qualquer contraparte no mundo físico. As Experiências visuais e auditivas da realidade virtual são estimulantes, mas a interação tátil ainda é limitada.

Guerra

A segurança dos sistemas de computação e das comunicações é o foco principal do Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Existe um consenso geral de que o lado que puder conservar a integridade de seus recursos computacionais dominará o campo de batalha.

Os seres humanos, de modo geral, se encontram bem distantes da cena de batalha. As táticas de guerra são dominadas por dispositivos aerotransportados inteligentes e sem tripulação humana. Muitas destas armas voadoras são do tamanho de pequenos pássaros ou ainda menores.

Os Estados Unidos continuam a ser o poder militar mundial dominante, o que é aceito, de um modo geral, pelo resto do mundo, uma vez que a maioria dos países se concentra na competição econômica. Os conflitos militares entre as nações se tornaram raros e a maioria dos conflitos que ainda existem se trava entre países e pequenos bandos de terroristas. O maior perigo à segurança nacional provém das armas produzidas pelo bioEngenharia.

Saúde e medicina

Os tratamentos criados pela bioEngenharia reduziram a mortalidade causada pelo câncer, doenças cardiovasculares e uma grande variedade de outros problemas de saúde. Um progresso significativo está sendo obtido na compreensão da base de processamento de informações que ocasiona as doenças.

A telemedicina é amplamente utilizada. Os médicos podem examinar seus pacientes à distância, realizando exames visuais, auditivos e hápticos. Clínicas de saúde com equipamentos relativamente baratos e um único técnico trazem

cuidados médicos e sanitários a áreas remotas, onde os médicos anteriormente eram raros.

O reconhecimento de padrões baseado em computadores é usado rotineiramente para interpretar imagens visuais digitalizadas e outros procedimentos diagnósticos. O uso de tecnologias de imagens não invasivas aumentou de forma substancial. O diagnóstico quase sempre envolve a colaboração entre um médico humano e um sistema especialista baseado em reconhecimento de padrões. Os médicos consultam sistemas baseados em conhecimento de forma rotineira (geralmente através de comunicação vocal aumentada por apresentações visuais), que fornecem orientação automatizada, acesso às pesquisas médicas mais recentes e orientação da prática médica na clínica geral.

Os históricos dos pacientes são mantidos em bancos de dados computadorizados. Preocupações referentes à intimidade dos pacientes no que se refere ao acesso a estes registros (como ocorre com muitas outras bases de dados sobre informações pessoais) emergiram como uma questão importante.

Os médicos são treinados rotineiramente em ambientes de realidade virtual, que incluem interfaces hápticas. Estes sistemas simulam as Experiências visuais, auditivas e táteis de procedimentos médico-cirúrgicos. Pacientes simulados encontram-se disponíveis para educação médica continuada, para estudantes de medicina ou para pessoas que simplesmente querem brincar de médico.

Filosofia

Há um interesse renovado no Teste de Turing, proposto Inicialmente por Alan Turing, em 1950, como um meio de testar a inteligência de uma máquina. Lembrem-se de que o Teste de Turing contempla uma situação na qual um ser humano serve como juiz para entrevistar um computador e um controle humano, que se comunica com ambos por meio de linhas de terminais. Se o juiz humano for incapaz de dizer quando está entrevistando o humano e quando está se comunicando com a máquina, então afirma-se que a máquina possui inteligência de nível humano. Embora os computadores até hoje falhem neste teste, cresce a confiança de que se encontrarão em posição de passar nele dentro de uma ou duas décadas mais.

Há sérias especulações sobre a senciência potencial (isto é, consciência) da inteligência baseada em computadores. O aumento cada vez mais aparente da inteligência dos computadores despertou um interesse crescente na filosofia.

Ei, Molly!

AH, AGORA VOCÊ ESTÁ ME CHAMANDO.

Bem, o capítulo terminou e você não me disse nada.

DESCULPE, EU ESTAVA FALANDO AO TELEFONE COM MEU NOIVO.

Nossa, parabéns, que ótimo! Há quanto tempo você conhece...

BEN. O NOME DELE É BEN. NÓS NOS CONHECEMOS HÁ UNS DEZ ANOS, LOGO DEPOIS QUE VOCÊ ACABOU ESSE LIVRO.

Sei. E como foi que me saí?

VOCÊ CONSEGUIU VENDER ALGUNS EXEMPLARES.

Não, estou falando de minhas previsões.

NÃO MUITO BEM. OS TELEFONES TRADUTORES, POR EXEMPLO, SÃO UM POUCO RIDÍCULOS. QUER DIZER, ELES VIVEM COMETENDO ERROS.

Quer dizer então que você já os está usando, então?

CLARO, ORA. DE QUE OUTRO JEITO EU VOU FALAR COM O PAI DO MEU NOIVO, QUE MORA EM IEPER, NA BÉLGICA, E QUE NUNCA SE DEU AO TRABALHO DE APRENDER INGLÊS?

Claro. E o que mais?

VOCÊ DISSE QUE O CÂNCER TINHA SIDO REDUZIDO, MAS ESSA FOI UMA AFIRMAÇÃO MUITO SUPERFICIAL. OS TRATAMENTOS DA BIOENGENHARIA, PARTICULARMENTE OS MEDICAMENTOS ANTIANGIOGENÉTICOS QUE IMPEDEM QUE OS TUMORES DESENVOLVAM OS CAPILARES DE QUE NECESSITAM, JÁ ELIMINARAM A MAIOR PARTE DAS FORMAS DE CÂNCER COMO ASSASSINAS IMPORTANTES.⁶

Foi só porque eu não me animei a fazer essa previsão. Já houve tantas falsas esperanças com relação aos tratamentos para o câncer, e tantas abordagens prometedoras que se demonstraram becos sem saída, que eu simplesmente não estava disposto a ir tão longe. E, depois, simplesmente não existiam evidências suficientes, quando eu escrevi este livro, em 1998, para fazer uma previsão assim tão dramática.

ATÉ PARECE QUE VOCÊ EVITOU FAZER PREVISÕES DRAMÁTICAS.

As previsões que eu fiz eram relativamente conservadoras, de fato, baseadas em tecnologias e tendências que eu podia tocar e sentir. Eu certamente tinha conhecimento de diversas abordagens prometedoras ao tratamento do câncer por bioEngenharia, mas isso ainda não era lá muito certo, tendo em vista a história

pregressa das pesquisas sobre o câncer. De qualquer maneira, o livro apenas tocou tangencialmente na bioEngenharia, embora ela seja claramente uma tecnologia baseada em informações.

MAS COM RELAÇÃO AO SEXO...

Falando de problemas de saúde...

SIM. MUITO BEM, VOCÊ FALOU QUE PARCEIROS VIRTUAIS ERAM POPULARES, MAS EU SIMPLEMENTE NÃO VEJO ISSO.

Podem ser simplesmente os tipos de círculos sociais que você frequenta...

MEU CÍRCULO DE RELAÇÕES É MUITO PEQUENO A MAIOR PARTE DO TEMPO EU ESTIVE TENTANDO FAZER BEN SE CONCENTRAR EM NOSSO CASAMENTO.

Sim, me fale mais a respeito dele.

ELE É MUITO ROMÂNTICO. SABE QUE ELE ATÉ ME MANDA CARTAS ESCRITAS EM PAPEL!?!...

Isso é romântico mesmo... Como foi o telefonema que eu interrompi?

EU EXPERIMENTEI UMA CAMISOLA NOVA QUE ELE ME MANDOU. PENSEI QUE ELE FOSSE GOSTAR, MAS ELE ME DEIXOU MEIO ABORRECIDA...

Suponho que você vai completar esse pensamento.

ELE QUERIA QUE EU DEIXASSE AS TIRAS ESCORREGAREM DOS OMBROS, NEM QUE FOSSE UM POQUINHO. MAS EU SOU MEIO TÍMIDA AO TELEFONE. EU REALMENTE NÃO GOSTO DE FAZER SEXO POR VIDEOFONE. NÃO SOU COMO ALGUMAS DE MINHAS AMIGAS.

Ah, quer dizer que essa previsão estava certa...

DE QUALQUER MANEIRA, FALEI PARA ELE USAR OS TRANSFORMADORES DE IMAGEM.

Transformadores?

VOCÊ SABE, SE ELE QUISER, PODE ME DEIXAR NUA SÓ DO LADO DELE.

Ah, sim, é claro... O computador está alterando sua imagem em tempo real.

EXATO. VOCÊ PODE MUDAR O ROSTO, O CORPO OU A ROUPA DE ALGUÉM OU FAZER UM AMBIENTE QUE CERQUE ALGUÉM OU ALGUMA COISA INTEIRAMENTE DIFERENTE E A PESSOA NEM FICA SABENDO QUE VOCÊ ESTÁ FAZENDO ISSO.

Hummmmm...

DE QUALQUER MANEIRA, PEGUEI O BEN DESPINDO A SUA ANTIGA NAMORADA QUANDO ELA TELEFONOU PARA LHE DAR

OS PARABÉNS PELO NOSSO NOIVADO. A COITADA NÃO FAZIA A MENOR IDEIA E ELE ACHOU QUE NÃO FAZIA MAL NENHUM. FLQUEI UMA SEMANA SEM FALAR COM ELE.

Mas se era só do lado dele...

E QUEM SABE O QUE ELA ESTAVA FAZENDO DO LADO DELA?

Acho que isso é problema dela, não é? Desde que um não saiba o que o outro está fazendo...

EU NÃO TENHO TANTA CERTEZA ASSIM DE QUE ELES NÃO SABIAM. DE QUALQUER MANEIRA, AS PESSOAS ANDAM PASSANDO UM MONTE DE TEMPO JUNTAS, MAS À DISTÂNCIA, SE É QUE VOCÊ ME ENTENDE.

Usando as telas?

NÓS CHAMAMOS DE PORTAIS: VOCÊ PODE OLHAR ATRAVÉS DELES, MAS NÃO PODE TOCAR.

Entendo. Então ainda não há interesse em sexo virtual?

NÃO PESSOALMENTE. QUER DIZER, EU ACHO QUE É PATÉTICO. MAS TIVE DE ESCREVER O TEXTO DE UM LIVRETO A RESPEITO DE UM AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL SENSUAL. COMO NÃO TENHO LÁ MUITA AUTORIDADE, NÃO POSSO ESCOLHER O TIPO DE SERVIÇO QUE VOU FAZER.

Você experimentou o produto?

NÃO EXATAMENTE. EU APENAS OBSERVEI. EU DIRIA QUE ELES SE ESFORÇARAM MAIS PARA DESENHAR AS GAROTAS VIRTUAIS DO QUE PARA PROJETAR OS CARAS.

E qual foi o resultado de sua campanha?

O PRODUTO AFUNDOU. QUER DIZER, O MERCADO ESTÁ TÃO SATURADO COM ESSAS COISAS...

Não se pode ganhar sempre.

NÃO, MAS UMA DE SUAS PREVISÕES FUNCIONOU MUITO BEM. EU ACEITEI O SEU CONSELHO A RESPEITO DAQUELA COMPANHIA QUE FICA AO NORTE DA LINHA MASONDLXON. E OLHE, NÃO ESTOU ME QUEIXANDO...

Aposto que um monte de ações estão em alta.

POIS É, A MARÉ ESTÁ PRA PEIXE.

Ok, e o que mais?

VOCÊ TEM RAZÃO QUANTO AOS DEFICIENTES. TENHO UMA COLEGA SURDA NO ESCRITÓRIO E ISSO NÃO É O MENOR

PROBLEMA. NÃO HÁ NADA IMPORTANTE QUE UMA PESSOA CEGA OU SURDA NÃO POSSA FAZER HOJE.

Em 1999 isso já era verdade.

EU ACHO QUE A DIFERENÇA, AGORA, É QUE O PÚBLICO EM GERAL ENTENDE ISSO. A COISA FICOU MUITO MAIS ÓBVIA COM A TECNOLOGIA DE HOJE. MAS ENTENDER ESSAS COISAS É IMPORTANTE.

Claro, mas sem a tecnologia há uma porção de preconceitos e mal-entendidos.

CLARO QUE SIM. ACHO QUE TENHO DE INTERROMPER AGORA. ESTOU VENDO O ROSTO DO BEN NA MINHA LINHA DE CHAMADAS.

Ele parece um São Bernardo...

AH, EU DEIXEI LIGADOS OS MEUS TRANSFORMADORES DE IMAGEM. PRONTO, AGORA VOCÊ PODE VER A APARÊNCIA VERDADEIRA DELE.

Ah, é um sujeito simpático... Boa sorte. Você parece estar mudada.

ESPERO MESMO QUE SIM.

Quero dizer, tenho a impressão de que nosso relacionamento mudou.

ESTOU DEZ ANOS MAIS VELHA.

E parece que sou eu que estou lhe fazendo a maioria das perguntas.

ACHO QUE, AGORA, A ESPECIALISTA SOU EU. SÓ POSSO LHE DIZER O QUE EU MESMA VEJO. MAS COMO É QUE VOCÊ AINDA ESTÁ PRESO EM 1999?

Receio que ainda não possa sair daqui. Para começar, tenho de publicar este livro.

ESTOU MEIO CONFUSA. COMO É QUE VOCÊ PODE CONVERSAR COMIGO DE 1999, SE JÁ ESTOU AQUI NO ANO DE 2009? QUE TIPO DE TECNOLOGIA É ESSA?

Ah, é uma tecnologia muito antiga. Chama-se licença poética.

Capítulo Dez

2019

Aquele que monta um elefante selvagem vai para onde o elefante quiser ir.

- **Randolph Boume**

Se você por acaso mora perto de um dragão, não é bom deixá-lo de fora de **seus** cálculos.

- **J. R. R. Tolkien**

O computador propriamente dito

A maior parte dos computadores, agora, é invisível. Eles estão embutidos em toda parte: nas paredes, nas mesas, nas cadeiras, nas escrivaninhas, nas roupas, nas joias e nos corpos.

Para as pessoas, é rotina usar telas tridimensionais embutidas nos óculos ou em lentes de contato. Estas telas “de olhar direto” criam ambientes visuais virtuais altamente realísticos, que se sobrepõem ao ambiente “real”. Esta tecnologia de apresentação projeta as imagens diretamente nas retinas humanas, excede a resolução normal da visão humana e é amplamente usada, sem que as pessoas se preocupem com a possibilidade de prejudicar seus olhos. As telas de olhar direto operam de três modos diferentes.

1. *Exibição direcionada para a cabeça.* As imagens mostradas são estacionárias com relação à posição e orientação de sua cabeça. Quando você a move, as imagens se movem relativamente ao ambiente real. Este modo é frequentemente utilizado para interagir com documentos virtuais.
2. *Exibição de sobreposição real/virtual.* As imagens virtuais deslizam quando você move ou gira a cabeça, de modo que pessoas, objetos e ambientes virtuais parecem permanecer estacionários com relação ao ambiente real (que você ainda consegue enxergar). Desse modo, se a apresentação de olhar direto estiver mostrando a imagem de uma pessoa (que pode ser uma pessoa real, mas geograficamente remota, participando de uma ligação telefônica visual tridimensional com você ou simplesmente uma pessoa “simulada” e gerada por computador), essa pessoa projetada parecerá estar em um lugar particular relativamente ao

ambiente real, que você enxerga simultaneamente. Quando você move a cabeça, essa pessoa projetada parecerá permanecer no mesmo lugar em que estava antes, com relação ao ambiente real.

3. *Exibição de bloqueio real/virtual.* Esta é a mesma que a apresentação de superposição real/virtual, com a diferença de que o ambiente real é bloqueado e, assim, você somente vê o ambiente virtual projetado. Você utiliza este modo para deixar a realidade “real” e ingressar em um ambiente de realidade virtual.

Além das lentes óticas, existem “lentes” auditivas, que colocam sons de alta resolução em localizações precisas dentro de um ambiente tridimensional. Elas podem ser embutidas nas armações de óculos, usadas como algum tipo de joia ou enfeite corporal ou implantadas no canal do próprio ouvido.

Os teclados são raros, embora ainda existam. A maior parte da interação com computadores é realizada por meio de gestos, utilizando as mãos, os dedos ou as expressões faciais ou através de uma comunicação falada reciprocamente em linguagem natural. As pessoas se comunicam com os computadores do mesmo modo como com um assistente humano, tanto verbalmente quanto através de expressões visuais. Uma atenção significativa é colocada na formação da personalidade de assistentes pessoais baseados em computadores, com muitos tipos de escolha disponíveis. Os próprios usuários podem modelar a personalidade de seus assistentes pessoais inteligentes, baseados em pessoas reais, inclusive eles próprios, ou selecionar uma combinação de traços de caráter de uma grande variedade de personalidades públicas, misturados aos de seus amigos ou associados particulares.

As pessoas não costumam possuir apenas um “computador pessoal” específico, ainda que a computação tenha se tornado altamente personalizada. A computação e a comunicação em largura de banda extremamente alta se encontram em toda parte. Os cabos praticamente desapareceram.

A capacidade computacional de um dispositivo de computação no valor de 4 mil dólares (dentro do poder aquisitivo de 1999) é praticamente igual à capacidade computacional do cérebro humano (20 milhões de bilhões de cálculos, ou 20 trilhões, por segundo).² Da capacidade total de computação da espécie humana (isto é, de todos os cérebros vivos), combinada com toda a tecnologia de computação que a espécie criou, mais de 10% é não humana.³

Memórias rotativas e outros dispositivos de computação eletromecânica foram completamente substituídos por dispositivos eletrônicos. Treliças de

nanotubos tridimensionais são, agora, a forma dominante de circuitos de computação.

A maior parte das atividades computacionais dos computadores é dedicada, agora, a redes neurais paralelas maciças e a algoritmos genéticos.

Um progresso significativo foi realizado na Engenharia reversa do cérebro humano baseada em escaneamento. Agora, se aceita totalmente que o cérebro compreende muitas regiões especializadas, cada uma delas com sua própria topologia e arquitetura de conexões entre os neurônios. Os algoritmos paralelos maciços estão começando a ser compreendidos e estes resultados foram aplicados no projeto de redes neurais baseadas em máquinas. Já foi reconhecido que o código genético humano não especifica as conexões interneurais precisas de qualquer das regiões, mas antes determina um rápido processo evolutivo no qual as conexões são estabelecidas e lutam entre si pela sobrevivência. O processo padrão de conexão de redes neurológicas baseadas em máquinas utiliza um algoritmo genético semelhante.

Uma nova tecnologia de imagem ótica controlada por computador, com utilização de dispositivos de difração baseados em níveis quânticos, substituiu a maior parte das lentes pelos minúsculos dispositivos que podem detectar ondas luminosas a partir de qualquer ângulo. Estas câmeras do tamanho de cabeças de alfinete se encontram por toda parte.

Máquinas autônomas, produzidas por nanoEngenharia, podem controlar sua própria mobilidade e incluem motores computacionais significativos. Estas máquinas microscópicas estão começando a ser incluídas em aplicações comerciais, particularmente no controle de processos e de manufatura, mas ainda não são de uso geral.

Educação

Telas de mão são extremamente finas, com altíssima resolução, e pesam apenas algumas centenas de gramas. As pessoas leem documentos diretamente nessas telas ou, o que é mais comum, em textos projetados no ambiente virtual onipresente por intermédio dos displays de visão direta ubíquos. Livros e documentos de papel são raramente utilizados ou acessados. A maioria dos documentos importantes do século XX foi escaneada e pode ser encontrada dentro da rede sem fio.

A maior parte do aprendizado é realizada pela utilização de softwares que simulam professores. Quando o ensino é feito por professores humanos, eles muitas vezes não estão na região geográfica em que o aluno está. Os professores são vistos mais como mentores e conselheiros do que como fontes de aprendizado e conhecimento.

Os alunos continuam a se reunir para trocar ideia e socializar, embora até

mesmo essas reuniões sejam, com frequência, física e geograficamente remotas.

Todos os estudantes utilizam a computação. A computação, de modo geral, está em toda parte; portanto, o fato de um estudante não ter um computador praticamente nem se discute.

A maioria dos trabalhadores humanos adultos passa a maioria de seu tempo adquirindo novas habilidades e conhecimentos.

Deficiências

Pessoas cegas costumam utilizar sistemas de navegação de leitura instalados em óculos, que incorporam os novos sensores óticos de alta resolução controlados digitalmente. Esses sistemas podem ler texto no mundo real, embora, como a maior parte do material impresso é eletrônico hoje em dia, a leitura impressão para-fala é menos exigida. A função de navegação desses sistemas, que emergiu há cerca de dez anos, já foi aperfeiçoada hoje. Esses assistentes de navegação de leitura automáticos se comunicam com usuários cegos por intermédio tanto de fala quanto de indicadores táteis. Esses sistemas também são amplamente utilizados por pessoas com visão normal, pois oferecem uma interpretação em alta resolução do mundo visual.

Já surgiram implantes retiniais e neurais de visão, mas eles apresentam limitações e são utilizados apenas por uma pequena porcentagem de cegos.

Pessoas surdas costumam ler o que outras pessoas estão dizendo por intermédio de displays de lentes. Existem sistemas que oferecem interpretações visuais e táteis de outras Experiências auditivas como música, mas existe um debate sobre se esses sistemas oferecem uma Experiência comparável à de uma pessoa com audição normal. Implantes cocleares e de outros tipos para aprimorar a audição são muito eficientes e amplamente utilizados.

Paraplégicos e alguns tetraplégicos costumam caminhar e subir escadas por intermédio de uma combinação de estimulação de nervos, controlada por computador e dispositivos robóticos na forma de exoesqueletos.

De modo geral, deficiências como cegueira, surdez e paraplegia não são notáveis, nem consideradas significativas.

Comunicação

Você pode fazer praticamente o que quiser com qualquer pessoa, independentemente da proximidade física. A tecnologia para realizar isso é fácil de usar e está sempre presente.

Ligações “telefônicas” costumam incluir imagens tridimensionais de alta

resolução projetadas por intermédio dos displays visuais diretos e de lentes auditivas. Displays holográficos tridimensionais também surgiram. Em ambos os casos, os usuários sentem como se estivessem fisicamente próximos da outra pessoa. A resolução é igual ou até mesmo maior do que a da acuidade visual humana ideal. Portanto, uma pessoa pode se confundir, achando que uma pessoa está presente quando está sendo projetada por intermédio de comunicações eletrônicas. A maioria dos “encontros” não requer proximidade física.

A tecnologia de comunicação disponível normalmente inclui tradução de idiomas falados de alta qualidade para a maior parte dos pares de linguagens comuns.

Ler livros, revistas, jornais e outros documentos de Web, ouvir música, ver filmes tridimensionais (por exemplo, televisão, cinema), entabular conversas telefônicas visuais tridimensionais, entrar em ambientes virtuais (por si mesmo, ou com outras pessoas geograficamente remotas), e diversas combinações dessas atividades são todas realizadas por intermédio da onipresente Web de comunicações e não requerem qualquer equipamento, dispositivos ou objetos que não sejam vestíveis ou implantados.

O ambiente tátil completamente envolvente é, hoje, amplamente disponível e totalmente convincente. Sua resolução equivale ou supera à do toque humano e pode simular (e estimular) todas as facetas do sentido tátil, incluindo a sensação de pressão, temperatura, texturas e umidade. Embora os aspectos visuais e auditivos da realidade virtual envolvam somente dispositivos que você possua sobre ou dentro de seu corpo (as lentes de visão direta e lentes auditivas), o ambiente háptico de “toque total” exige que você entre em uma cabine de realidade virtual. Essas tecnologias são populares para exames médicos, bem como interações sensuais e sexuais com outros parceiros humanos ou parceiros simulados. Na verdade, ela costuma ser o modo preferido de interação, até mesmo quando um parceiro humano está por perto, devido à sua capacidade de aprimorar tanto a Experiência quanto a segurança.

Negócios e economia

As rápidas expansão e prosperidade econômicas continuam.

A imensa maioria das transações incluiu uma pessoa simulada, apresentando uma personalidade animada realista e comunicações por voz de mão dupla com compreensão de linguagem natural de alta qualidade. Frequentemente não há humanos envolvidos, pois um humano pode mandar seu assistente automatizado pessoal realizar transações em seu lugar com outras personalidades animadas. Neste caso, os assistentes deixam de lado a linguagem natural e se comunicam

diretamente, trocando estruturas de conhecimento apropriadas.

Robôs domésticos para a realização de limpeza e outros tipos de tarefas são agora onipresentes e confiáveis.

Descobriu-se que os sistemas de direção automáticos são altamente confiáveis e começaram agora a ser instalados em quase todas as estradas. Embora os humanos ainda tenham permissão de dirigir em estradas locais (mas não em auto-estradas), os sistemas de direção automática estão sempre acionados e prontos para assumir o controle quando necessário para impedir acidentes. Veículos aéreos pessoais eficientes, usando microflaps, já foram demonstrados e são basicamente controlados por computador. Há poucos acidentes de transportes.

Política e sociedade

As pessoas estão começando a se relacionar com personalidades automatizadas, sejam companheiros, professores, auxiliares ou amantes. Personalidades automatizadas são superiores aos humanos em algumas coisas, como o fato de terem memórias muito confiáveis e, se desejado, personalidades previsíveis (e programáveis). Elas ainda não são consideradas iguais aos humanos na sutileza de suas personalidades, embora nem todos concordem nesse ponto.

Certa preocupação está começando a surgir com relação à influência da inteligência das máquinas. Continuam a existir diferenças entre a inteligência de humanos e de máquinas, mas as vantagens da inteligência humana estão ficando mais difíceis de identificar e articular. A inteligência dos computadores está completamente mesclada com os mecanismos da civilização e é projetada para ser externamente subserviente ao aparente controle humano. Por um lado, as transações com decisões humanas requerem por lei um agente humano de responsabilidade, mesmo que sejam totalmente iniciadas pelas inteligências de máquinas. Por outro lado, poucas decisões são tomadas sem um envolvimento significativo e consulta com inteligências de máquinas.

Espaços públicos e privados são monitorados rotineiramente por inteligências de máquinas para impedir violência interpessoal. As pessoas tentam proteger sua privacidade com tecnologias de encriptação quase impossíveis de decifrar, mas a privacidade continua a ser um importante tema político e social, com praticamente cada movimento de cada indivíduo armazenado em uma base de dados em algum lugar.

A existência de uma classe social marginalizada continua em questão. Embora haja prosperidade suficiente para fornecer as necessidades básicas (casa

e comida, entre outras) sem provocar uma tensão significativa na economia, ainda persistem velhas controvérsias com relação a questões envolvendo responsabilidade e oportunidade. A questão se torna mais complicada pelo fato, cada vez mais presente, de a maioria dos empregos estar relacionada ao próprio aprendizado e à aquisição de competências da parte do empregado. Em outras palavras, a diferença entre os engajados “produtivamente” e os que não o são nem sempre é clara.

As artes

Artistas visuais em todos os campos das artes estão emergindo e sendo levados a sério. Esses artistas visuais, músicos e autores cibernéticos normalmente estão afiliados a humanos ou organizações (que, por sua vez, são compostas por colaborações entre humanos e máquinas) que contribuíram para sua base de conhecimento e técnicas. Entretanto, o interesse na produção dessas máquinas criativas ultrapassou a mera novidade do fato de máquinas possuírem criatividade.

As artes visual, musical e literária, criadas por artistas humanos, costumam envolver uma colaboração entre inteligências humanas e de máquinas.

O tipo de produto artístico e de entretenimento em maior demanda (conforme medido pela geração de receita) continua a ser software de Experiência virtual, cujo alcance vai de simulações de Experiências “reais” até ambientes abstratos com pouca ou nenhuma correspondência com o mundo físico.

Guerra

A principal ameaça à segurança vem de pequenos grupos combinando inteligências humanas e de máquinas, utilizando comunicação encriptada impossível de decifrar. Essas ameaças incluem (1) interrupções em canais de informação pública por intermédio de vírus de software, e (2) agentes de contaminação criados por bioEngenharia.

A maioria das armas voadoras são pequenas algumas são do tamanho de insetos com armas voadoras microscópicas sendo pesquisadas no momento.

Saúde e medicina

Muitos dos processos vitais codificados no genoma humano, que foi decifrado mais de dez anos antes, são hoje compreendidos amplamente, junto com os mecanismos de processamento de informações subjacentes às condições

degenerativas e de envelhecimento, como câncer e doenças cardíacas. A expectativa de vida, que era inferior a 40 anos até a primeira Revolução Industrial (de 1780 a 1900) e a primeira fase da Segunda (o século XX), e que quase dobrou após esse período, agora aumentou substancialmente mais uma vez, para mais de 100 anos.

Existe um reconhecimento cada vez maior do perigo da disponibilidade ampla da tecnologia de bioEngenharia. Todos com nível de conhecimento e equipamento disponíveis a um típico aluno de faculdade podem ter acesso aos meios para criar agentes contaminantes com enorme potencial destrutivo. O fato de que esse potencial é desequilibrado até certo ponto por ganhos comparáveis em tratamentos antivirais de bioEngenharia constitui um equilíbrio difícil, e é um grande foco de órgãos de segurança internacional.

Monitores de saúde computadorizados embutidos em relógios, joias e roupas que diagnosticam condições de saúde tanto agudas quanto crônicas são amplamente utilizados. Além do diagnóstico, esses monitores fornecem uma variedade de recomendações e intervenções remediais.

Filosofia

Existem relatórios cada vez mais frequentes de computadores que passam no Teste de Turing, embora esses exemplos não atendam aos critérios (com relação à sofisticação do juiz humano, à extensão de tempo para as entrevistas etc.) estabelecidos por observadores entendidos no assunto. Existe um consenso de que os computadores ainda não passaram num Teste de Turing válido, mas há controvérsias cada vez maiores com relação a esse ponto.

A Experiência subjetiva da inteligência baseada em computadores está sendo seriamente discutida, embora os direitos da inteligência de máquina ainda não tenham entrado em discussão. A inteligência das máquinas ainda é, em grande parte, o produto de uma colaboração entre humanos e máquinas, e tem sido programada para manter uma relação subserviente com a espécie que a criou.

OK, ESTOU AQUI AGORA. DESCULPE AQUELA DISTRAÇÃO DEZ ANOS ATRÁS.

Não há problema. Como vai?

ESTOU ÓTIMA OCUPADA MAS SEGURANDO AS PONTAS. PRONTA PARA A FESTA DE DEZ ANOS DO MEU FILHO.

Ah, então você estava grávida da última vez em que nos falamos.

A BARRIGA AINDA NÃO ESTAVA APARECENDO, MAS AS PESSOAS NOTARAM NO CASAMENTO.

Como vai ele?

OK, MAS JEREMY TEM MUITO O QUE APRENDER AINDA.

Isso não parece muito incomum.

DE QUALQUER MODO, DESCOBRI JEREMY COM UMA MULHER MAIS VELHA, TIPO ASSIM DA MINHA IDADE, NA SEMANA PASSADA. VAMOS DIZER SIMPLEMENTE QUE ELA NÃO ESTAVA INTEIRAMENTE VESTIDA.

E mesmo?

ACONTECE QUE ERA A PROFESSORA DE QUARTA SÉRIE DELE.

Nossa, mas o que ela estava fazendo?

ELE ESTAVA DOENTE EM CASA, ENTÃO ELA ESTAVA PASSANDO PARA ELE A LIÇÃO DE CASA.

Sem roupa?

AH, ELA NEM FAZIA IDEIA DISSO.

Claro, os transformadores de imagem, eu havia me esquecido.

ELE NÃO DEVERIA TER ACESSO A ESSES TRANSFORMADORES ESPECÍFICOS. MAS, APARENTEMENTE, CONSEGUIU UM PATCH PARA DESBLOQUEAR O CONTROLE DE PAIS COM UM AMIGUINHO. ELE NÃO QUER ME DIZER QUEM FOI.

Algumas coisas nunca mudam.

EU ACHO QUE, AGORA, CONSEGUIMOS RECOLOCAR O BLOQUEIO.

Então, vocês discutiram isso com a professora dele?

A SRTA. SIMON? MEU DEUS, NÃO.

E lhe deram algum castigo?

DESBLOQUEAR O CONTROLE DE PAIS SIMPLEMENTE NÃO É TOLERADO EM NOSSA CASA. ELE ESTÁ PROIBIDO DE USAR O SENSORIUM POR UM MÊS.

Isso parece sério. Sensorium? É alguma coisa ligada à realidade virtual?

NA VERDADE, SENSORIUM É UM NOME DE MARCA PARA O AMBIENTE DE TOQUE TOTAL QUE TEMOS. É UM MODELO NOVO COM TECNOLOGIA OLFATIVA APRIMORADA. PARA REALIDADE VIRTUAL APENAS VISUAL-AUDITIVA ISSO COSTUMA ESTAR ATIVADO PRATICAMENTE O TEMPO TODO PELO USO DAS LENTES, VOCÊ NÃO PRECISA USAR NADA DE ESPECIAL.

Então, o que ele faz no Sensorium?

AH, KICKBOXING, LUTA-LIVRE GALÁCTICA, ESSAS COISAS QUE TODO GAROTO DE DEZ ANOS FAZ. NOS ÚLTIMOS TEMPOS, ELE TEM BRINCADO DE MÉDICO.

Ah! Ele parece bem precoce...

ACHO QUE ELE ESTÁ TENTANDO É TESTAR NOSSA PACIÊNCIA.

Então esse incidente com a srta. Simon foi no Sensorium?

NÃO, AQUILO FOI APENAS UMA LIGAÇÃO TELEFÔNICA POR REALIDADE VIRTUAL. JEREMY ESTAVA AQUI NA COZINHA. ELE FEZ A SRTA. SIMON SE SENTAR À MESA DA COZINHA.

Então, se ele estava olhando para a imagem transformada dela, utilizando suas lentes de realidade virtual, como você conseguiu vê-la?

NÓS TEMOS ACESSO AOS AMBIENTES DE REALIDADE VIRTUAL DE NOSSOS FILHOS ATÉ ELES CHEGAREM AOS 14 ANOS.

Sei. Então você está ao mesmo tempo em seu próprio ambiente de realidade virtual e no de seus filhos?

SIM, E NÃO ESQUEÇA A REALIDADE REAL; NÃO QUE A REALIDADE VIRTUAL NÃO SEJA REAL.

Não é confuso, ver e ouvir todos esses ambientes diferentes se sobrepondo em camadas uns sobre os outros?

NÓS NÃO OUVIMOS OS AMBIENTES DE REALIDADE VIRTUAL DOS NOSSOS FILHOS. O RUÍDO NOS DEIXARIA LOUCOS, E AS CRIANÇAS TAMBÉM PRECISAM DE UM POUCO DE PRIVACIDADE. SÓ CONSEGUIMOS OUVIR A REALIDADE REAL E A NOSSA PRÓPRIA REALIDADE VIRTUAL. E PODEMOS SINTONIZAR AS REALIDADES VIRTUAIS VISUAIS DOS NOSSOS FILHOS. ENTÃO SINTONIZEI, E LÁ ESTAVA A SRTA. SIMON.

Ele recebeu algum outro castigo?

HÁ TRÊS MESES, ELE ESTAVA BLOQUEANDO NOSSO ACESSO À REALIDADE VIRTUAL DAS CRIANÇAS. ACHO QUE ELE CONSEGUIU ISSO COM AQUELE MESMO AMIGUINHO.

Não sei se devo culpá-lo. Não sei se eu iria querer que minha mãe ficasse olhando toda hora em minha realidade virtual.

NÃO FICAMOS OLHANDO TODA HORA; NA VERDADE, SOMOS BASTANTE SELETIVOS. MAS VOCÊ PRECISA SABER O QUE SEUS FILHOS ANDAM FAZENDO HOJE EM DIA. NÃO TEMOS ESSE PROBLEMA COM NOSSA FILHA EMILY.

Ela...

FEZ SEIS ANOS NO MÊS PASSADO. ELA É UM AMOR. SIMPLEMENTE DEVORA LIVROS.

Aos seis anos, isso é impressionante. Ela os lê sozinha?

SOZINHA? DE QUE OUTRO JEITO ELA IRIA LÊ-LOS?

Você poderia lê-los para ela, ora.

ÀS VEZES EU FAÇO ISSO. MAS EMILY ACHA QUE EU NÃO SOU ADEQUADA O SUFICIENTE. ENTÃO ELA PEDE QUE O HIPOPÓTAMO HARRY LEIA PARA ELA, E ELE FAZ DO JEITINHO QUE ELA QUER, E NÃO RETRUC.

Isso tudo acontece na realidade virtual, eu presumo.

CLARO. EU NÃO IA QUERER UM HIPOPÓTAMO DE VERDADE SENTADO À MESA DA MINHA COZINHA.

Não com uma srta. Simon parcialmente vestida ali também.

SERIA UMA MESA MUITO CHEIA.

Então, quando o Hipopótamo Harry lê para Emily, ela o acompanha com seu livro virtual.

ELA PODE OU SEGUIR JUNTO POR CONTA PRÓPRIA, OU PODE ATIVAR O RECURSO DE REALCE. AS CRIANÇAS DEIXAM QUE SEUS AMIGOS VIRTUAIS FAVORITOS LEIAM PARA ELAS, ENQUANTO OBSERVAM SEUS LIVROS VIRTUAIS COM O RECURSO DE REALCE. DEPOIS, ELAS DESATIVAM O REALCE, E, NO FIM, ACABAM NÃO PRECISANDO MAIS DO HIPOPÓTAMO HARRY TAMBÉM.

Ah, é como retirar as rodinhas da bicicleta.

ISSO MESMO. AGORA, UMA COISA QUE ME CONSOLA É QUE EU SEMPRE SEI ONDE MEUS FILHOS ESTÃO.

Na realidade virtual?

NÃO, ESTOU FALANDO AGORA DA REALIDADE REAL. POR EXEMPLO, EU POSSO VER QUE JEREMY ESTÁ A DOIS QUARTEIRÕES DAQUI, VINDO NESTA DIREÇÃO.

Um chip embutido?

É UM PALPITE RAZOÁVEL. MAS NÃO É EXATAMENTE UM CHIP. É UMA DAS PRIMEIRAS APLICAÇÕES ÚTEIS DA NANOTECNOLOGIA. VOCÊ COME UMA COISA.

Coisa?

É, É UMA ESPÉCIE DE PASTA, ATÉ QUE É GOSTOSA. ELA POSSUI MILHÕES DE MINÚSCULOS COMPUTADORES NÓS OS

CHAMAMOS DE RASTREADORES QUE PENETRAM EM SUAS CÉLULAS.

Alguns deles devem passar através.

É VERDADE, E OS RASTREADORES QUE SE AFASTAM DEMAIS DO RESTO DOS RASTREADORES QUE AINDA ESTEJAM NO CORPO SIMPLEMENTE SE DESATIVAM. AQUELES QUE FICAM NO SEU CORPO SE COMUNICAM UNS COM OS OUTROS, E COM A WEB.

A Web sem fio?

SIM, ELA ESTÁ EM TODA PARTE. ENTÃO EU SEMPRE SEI ONDE MEUS FILHOS ESTÃO. LEGAL, NÉ?

Então todo mundo tem isso?

ISSO É SOLICITADO PARA AS CRIANÇAS; PORTANTO, ACHO QUE UM DIA TODO MUNDO ACABARÁ USANDO TAMBÉM. MUITOS ADULTOS JÁ USAM, MAS OS ADULTOS PODEM BLOQUEAR A TRANSMISSÃO DE RASTREAMENTO SE QUISEREM.

As crianças não podem?

O BLOQUEIO DE RASTREAMENTO É UMA COISA QUE NÓS REALMENTE CONSEGUIMOS MANTER LONGE DOS NOSSOS FILHOS.

Então Jeremy não pôs as mãos em nenhum software de bloqueio de rastreamento?

DE FORMA ALGUMA, ESPERO. EMBORA, PENSANDO BEM, NÓS TENHAMOS TIDO UM LAPSO DO RASTREADOR NO ANO PASSADO. O TÉCNICO DISSE QUE ERA UM CONFLITO TEMPORÁRIO DE PROTOCOLO. DUVIDO QUE TENHA SIDO COISA DO JEREMY. MAS AGORA VOCÊ ME DEIXOU COM A PULGA ATRÁS DA ORELHA.

Duvido que Jeremy fosse fazer uma coisa dessas.

ACHO QUE VOCÊ TEM RAZÃO.

Esse técnico era humano?

NÃO, O PROBLEMA NÃO ERA ASSIM TÃO SÉRIO. BASTOU USARMOS UM TÉCNICO NÍVEL B.

Sei. Então, o seu marido está conectado no sistema de rastreamento?

ESTÁ, MAS ELE BLOQUEIA O SISTEMA UM BOCADO, E ISSO ME IRRITA.

Maridos também têm direito a um pouco de privacidade, não acha?

SIM, DEFINITIVAMENTE.

Então, algum outro parente do qual você queira me falar?

MEU SOBRINHO DE 25 ANOS, STEPHEN. ELE É UM POUCO RECLUSO; EU SEI QUE MINHA IRMÃ ESTÁ MUITO PREOCUPADA COM ELE. ELE PASSA QUASE TODO O SEU TEMPO OU EM TOQUE TOTAL OU EM MODO DE EXIBIÇÃO BLOQUEADA DE REALIDADE VIRTUAL.

E isso constitui um problema?

NÃO É QUE ELE APENAS BLOQUEIE A REALIDADE REAL, É QUE ELE PARECE EVITAR A INTERAÇÃO COM PESSOAS REAIS ATÉ MESMO NA REALIDADE VIRTUAL. PARECE SER UM PROBLEMA CADA VEZ MAIS COMUM.

Acho que pessoas simuladas nos deixam mais à vontade.

PODEM SER. QUERO DIZER, MEUS PRÓPRIOS ASSISTENTES E COMPANHEIROS SÃO, MAS EXPERIMENTE LIDAR COM OS ASSISTENTES DE OUTRAS PESSOAS, É OUTRA COISA TOTALMENTE DIFERENTE. DE QUALQUER MANEIRA, MINHA IRMÃ ESTAVA ME CONTANDO COMO ELA ACHAVA QUE STEPHEN ERA UM CYBER-VIRGEM, OU SERÁ QUE ELA DISSE VIRGEM VIRTUAL?

Caramba, como é mesmo essa distinção?

VOCÊ SABE, UM CYBER-VIRGEM JAMAIS TEVE RELAÇÕES SEXUAIS FORA DA REALIDADE VIRTUAL, ENQUANTO UM VIRGEM VIRTUAL JAMAIS TEVE RELAÇÕES COM UMA PESSOAL REAL, NEM MESMO NA REALIDADE VIRTUAL.

E quanto a pessoas que jamais tiveram intimidade com uma pessoa real ou simulada em realidade real ou virtual?

HUMM... ACHO QUE NÃO TEMOS UMA EXPRESSÃO PARA ISSO.

Quais são as estatísticas?

VEJAMOS, GEORGE ARRUMA ISSO PARA NÓS.

George é seu assistente virtual?

ISSO,, VOCÊ APRENDE RÁPIDO.

Puxa, obrigado.

ENTÃO, PARA OS ADULTOS ACIMA DE 25 ANOS, 11% SÃO VIRGENS VIRTUAIS, E 19% CYBER-VIRGENS.

Então acho que o sexo virtual está pegando... E você e Ben?

EU, DEFINITIVAMENTE, PREFIRO A COISA REAL!

Real, do tipo...

REALIDADE REAL.

Então você prefere intimidade na realidade real, o que quer dizer que você não evita a alternativa virtual?

ELA ESTÁ LOGO ALI. QUERO DIZER, PARA EVITÁ-LA TERÍAMOS DE FAZER UM ESFORÇO MUITO GRANDE. É CERTAMENTE CONVENIENTE SE EU ESTOU EM VIAGEM, OU SE NÃO QUEREMOS NOS PREOCUPAR COM CONTROLE DE NATALIDADE.

Ou DSTs.

ISSO NEM DEVERIA SER PROBLEMA.

Ora, nunca se sabe.

PARA SER PERFEITAMENTE HONESTA, O SEXO VIRTUAL É MUITO MAIS SATISFATÓRIO DE MUITAS MANEIRAS. QUERO DIZER, É DEFINITIVAMENTE MAIS INTENSO, INCRÍVEL DEMAIS, NA VERDADE.

Isto ocorre no Sensorium, supponho.

SLM, CLARO. ESTE MODELO RECENTE ATENDE ATÉ A QUESTÃO OLFATIVA.

Quer dizer que ele tem capacidade olfativa?

EXATAMENTE. MAS É UM POUCO DIFERENTE DOS OUTROS SENTIDOS. COM OS SENTIDOS VISUAL E AUDITIVO, A SIMPLES, BOA, VELHA E UBÍQUA REALIDADE VIRTUAL É EXTREMAMENTE PRECISA. NO SENSORIUM, NÓS CONSEGUIMOS O AMBIENTE TÁTIL, QUE TAMBÉM FORNECE UMA RECRIAÇÃO EXTREMAMENTE VÍVIDA. MAS NÃO PODEMOS FAZER ISSO AINDA COM O SENTIDO DO OLFATO. ENTÃO O SENSORIUM 2000 TEM AROMAS PROGRAMADOS, QUE VOCÊ PODE ESCOLHER, OU QUE SÃO AUTOMATICAMENTE SELECIONADOS NO DECORRER DE UMA EXPERIÊNCIA. ELES AINDA SÃO MUITO EFICIENTES.

O que você sente ao saber que seu marido interage sexualmente com um parceiro simulado?

VOCÊ SE REFERE A UMA PESSOA SIMULADA NA REALIDADE VIRTUAL?

Sim, na realidade virtual do Sensorium.

PRA MIM, TUDO BEM. NÃO TENHO NENHUM PROBLEMA COM ISSO.

Você não se importa?

NA VERDADE, NÃO HÁ COMO RASTREAR ISSO.

Um batonzinho virtual no colarinho dele?

É, ISSO, NO COLARINHO VIRTUAL. SEXO VIRTUAL COM PARCEIROS SIMULADOS É GERALMENTE ACEITO HOJE EM DIA. NA VERDADE, É CONSIDERADO UMA FORMA DE FANTASIA SEXUAL É APENAS UMA FANTASIA ASSISTIDA.

E se o parceiro for uma pessoa real na realidade virtual?

EU QUEBRARIA AS PERNAS DELE.

As pernas virtuais?

NÃO ERA BEM O QUE EU TINHA EM MENTE.

Então, qual é a diferença entre uma pessoa real na realidade virtual e um parceiro simulado?

COMO PARCEIROS SENSUAIS?

Isso.

AH, EXISTE UMA DIFERENÇA OS PARCEIROS SIMULADOS SÃO MUITO BONS, MAS SIMPLEMENTE NÃO É A MESMA COISA.

Pelo tom da sua voz, me parece que você já teve alguma Experiência com isso.

VOCÊ É BEM METIDINHO, NÃO É?

Tudo bem, vou mudar de assunto. Vamos ver, ahn, o que está acontecendo com a encriptação?

TEMOS CÓDIGOS DE MIL BITS QUE SÃO MUITO ESTÁVEIS. NÃO É PRÁTICO DECIFRÁ-LOS.

E com um computador quântico?

OS COMPUTADORES QUÂNTICOS NÃO PARECEM SER ESTÁVEIS COM MAIS DE ALGUMAS CENTENAS DE QU-BITS.

Parece que a comunicação é bastante segura.

EU DIRIA QUE SIM. MAS ALGUMAS PESSOAS SÃO PARANÓICAS QUANTO ÀS CHAVES DE TERCEIROS.

Então as autoridades possuem chaves?

CLARO.

Você não pode simplesmente colocar mais uma camada de encriptação sem chave por cima da camada oficial?

MEU DEUS, NÃO.

Por que isso é tão difícil?

AH, NÃO É DIFÍCIL TECNICAMENTE. É APENAS BASTANTE ILEGAL, CERTAMENTE, DESDE OUTUBRO DE 2013.

2013?

CONSEGUIMOS PASSAR PELA PRIMEIRA DÉCADA DESTE SÉCULO SEM PROBLEMAS MUITO SÉRIOS. MAS AS COISAS FUGIRAM AO CONTROLE NO INCIDENTE DE OKLAHOMA.

Oklahoma novamente. Então foi um vírus de software?

NÃO, VÍRUS DE SOFTWARE NÃO; UM VÍRUS BIOLÓGICO. UM ESTUDANTE INCONFORMADO EU DIRIA DEMENTE -, NA VERDADE EX-ALUNO DA UNIVERSIDADE DE LÁ. REPORTARAM QUE ELE ESTAVA LIGADO AO MOVIMENTO “LEMBREM-SE DE YORK”, MAS OS PORTA-VOZES DO LY NEGARAM COM VEEMÊNCIA QUALQUER RESPONSABILIDADE.

“Lembrem-se de York”?

FOI UM INCIDENTE QUE OCORREU NO BICENTENÁRIO DOS JULGAMENTOS DE YORK.

Ah, você está falando do julgamento dos luditas em 1813?

SIM, SÓ QUE A MAIORIA DOS ANTITECNOLOGIA NÃO GOSTA MAIS DO TERMO LUDITA; ELES SENTEM QUE AQUELA IMAGEM PATÉTICA DE NED LUDD TRAI A SERIEDADE DO MOVIMENTO DELES. ALÉM DISSO, AS PROVAS MAIS CONCRETAS SUGEREM QUE LUDD NUNCA EXISTIU.

Mas aconteceu um julgamento em 1813.

SIM, QUE TERMINOU COM OS MUITOS MEMBROS DA GANGUE, ACUSADOS DE DESTRUÍREM AS MÁQUINAS TÊXTEIS, SENDO ENFORCADOS OU EXILADOS.

Então o LY é um movimento organizado?

AH, EU NÃO DIRIA ISSO. É MAIS UM GRUPO DE DISCUSSÃO PELA WEB, E ESSE RAPAZ APARENTEMENTE HAVIA PARTICIPADO DE ALGUMAS DESSAS DISCUSSÕES. MAS O PESSOAL DA LY É BASICAMENTE NÃO VIOLENTO. ELES FICARAM PERTURBADOS POR ROBERTS TER ASSOCIADO SEU NOME A ELES.

Roberts foi o culpado?

SLM, CONSIDERADO CULPADO EM TODOS OS TRIBUNAIS. MAS, ALÉM DESSE ÚNICO INDIVÍDUO PERTURBADO, EU DIRIA QUE FOI REALMENTE UM ERRO CRASSO DA BWA.

BWA?

BIOWARFARE AGENCY. O ÓRGÃO DE CONTROLE À GUERRA BIOLÓGICA.

Então foi um vírus disseminado?

SLM, APENAS UM VÍRUS DE GRIPE PADRÃO MODIFICADO, EMBORA COM UMA COISINHA A MAIS. ELE TINHA UMA TAXA DE MUTAÇÃO ENORMEMENTE AMPLIADA, O QUE ACELEROU SUA

EVOLUÇÃO EM VÁRIOS NÍVEIS. UMA DAS FORMAS DO VÍRUS SÓ SE MANIFESTOU DURANTE UMA INFECÇÃO. ISSO, JUNTAMENTE COM UM PROGRAMA TIPO BOMBA-RELÓGIO NO DNA DO VÍRUS, PROVOCOU UMA REPRODUÇÃO VIRAL ULTRARÁPIDA APÓS ALGUMAS HORAS DE INFECÇÃO. ESSA PEQUENA COMPLEXIDADE RETARDOU O DESENVOLVIMENTO DE UM ANTÍDOTO POR 48 HORAS. MAS ISSO NÃO FOI O PIOR. APÓS 24 HORAS DO INÍCIO DO PROCESSO DE REPLICAÇÃO DO ANTÍDOTO, A BWA DESCOBRIU QUE OUTRO AGENTE BIOLÓGICO HAVIA INFECTADO OS LOTES, E POR ISSO TIVERAM DE COMEÇAR TUDO DE NOVO. E DEPOIS, NÃO HAVIA ESTAÇÕES DE REPLICAÇÃO SUFICIENTES, POR ISSO TIVERAM DE LIMPAR AQUELAS QUE HAVIAM ACABADO DE UTILIZAR, E PARTIR DALI EM FRENTE. QUARENTA E OITO HORAS FORAM PERDIDAS COM ESSE FIASCO, E 16 MIL PESSOAS MORRERAM. SE AS COISAS TIVESSEM SIDO ATRASADAS POR MAIS 24 HORAS, TERIA SIDO BEM PIOR. ESTA FOI UMA QUESTÃO DA MAIOR IMPORTÂNCIA NAS ELEIÇÕES DE MEIO DO ANO DE 2014. MUITAS MUDANÇAS OCORRERAM DESDE ENTÃO.

As chaves de terceiros?

SIM. ELAS JÁ EXISTIAM ANTES. MAS DESDE 2013 AS LEIS CONTRA CÓDIGOS DE ENCRIPTAÇÃO SEM CHAVE TÊM SIDO OBEDECIDAS COM RIGOR.

E o que mais mudou?

EXISTEM MUITAS ESTAÇÕES DE REPLICAÇÃO ANTIVIRAL AGORA. E TODOS TEMOS UMAS MÁSCARAS CONTRA GÁS BEM BONITINHAS.

Esse negocinho aí é uma máscara contra gás?

É. OLHE, DESDOBRA ASSIM. É PEQUENA, E POR ISSO SOMOS INCENTIVADOS A MANTÊ-LAS SEMPRE À MÃO. É, NA VERDADE, UMA MÁSCARA DE FILTRO VIRAL. OCASIONALMENTE, NOS MANDAM COLOCÁ-LAS, MAS GERALMENTE É APENAS POR ALGUMAS HORAS. DESDE 2013, SÓ TÊM OCORRIDO ALARMES FALSOS.

Então eu acho que os órgãos de segurança têm trabalhado muito duro.

COMO WILL ROGERS COSTUMAVA DIZER, “NINGUÉM PODE DIZER QUE A CIVILIZAÇÃO NÃO AVANÇA, POIS EM CADA

GUERRA ELES MATAM VOCÊ DE UM JEITO NOVO.”

O ano de 2013 parece trágico e apavorante. Mas, com o passar dos séculos, não parece que vocês estejam indo tão mal. No século XX, nós sabíamos como provocar desastres.

É, 50 MILHÕES DE PESSOAS MORRERAM NA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL.

E verdade.

É VERDADE QUE O SÉCULO, ATÉ AGORA, TEM VISTO MUITO MENOS DERRAMAMENTO DE SANGUE. MAS O OUTRO LADO DA MOEDA É QUE AS TECNOLOGIAS SÃO MUITO MAIS PODEROSAS HOJE. SE ALGUMA COISA DESSE ERRADO, AS COISAS PODERIAM DEGRINGOLAR E SAIR DE CONTROLE MUITO RAPIDAMENTE. COM A BIOENGENHARIA, POR EXEMPLO, É MEIO COMO SE TODOS OS 10 BILHÕES DE HABITANTES DO PLANETA ESTIVESSEM EM PÉ NUMA SALA, MERGULHADOS ATÉ OS JOELHOS EM UM LÍQUIDO INFLAMÁVEL, ESPERANDO QUE ALGUÉM QUALQUER UM ACENDA UM FÓSFORO.

Mas parece que muitos extintores de incêndio foram instalados.

FORAM SIM, MAS SÓ TORÇO PARA QUE ELES FUNCIONEM.

Sabe, eu andei preocupado com o lado sombrio da bioEngenharia por mais de uma década.

MAS VOCÊ NÃO ESCREVEU A RESPEITO NO SEU LIVRO *THE AGE OF INTELLIGENT MACHINES*, NO FINAL DOS ANOS 80.

Foi uma decisão consciente. Eu não queria dar à pessoa errada nenhuma ideia.

E EM 1999?

Ah, bom, agora, como se diz, o gato já saiu de dentro do saco.

SIM, NÓS TEMOS ANDADO CORRENDO ATRÁS DOS DESCENDENTES DESSE GATO PELOS ÚLTIMOS 20 ANOS, TENTANDO IMPEDIR QUE ELES APRONTEM MUITO.

Espere só até que os nanopatógenos comecem a funcionar.

FELIZMENTE ELES NÃO SÃO AUTO-REPLICANTES.

Não ainda.

SUPONHO QUE JÁ JÁ ISSO TAMBÉM COMEÇA A ACONTECER, MAS A PASTA RASTREADORA E OS OUTROS POUCOS APLICATIVOS DE NANOTECNOLOGIA QUE ESTÃO NO MERCADO HOJE SÃO FEITOS COM LITOGRAFIA DE RAIOS-X E OUTRAS TÉCNICAS CONVENCIONAIS DE FABRICAÇÃO.

Chega de desastres! O que é que você vai fazer esta noite?

VOU DAR UMA PALESTRA SOBRE MINHA EXPERIÊNCIA NA SEMANA PASSADA COMO JUÍZA DE UM TESTE DE TURING.

Suponho que o computador perdeu.

SIM, ELA PERDEU. MAS NÃO FOI “DE LAVADA”, COMO PENSEI QUE FOSSE SER. NO COMEÇO, EU ESTAVA PENSANDO: PUXA, ISTO É MUITO MAIS DIFÍCIL DO QUE EU ESPERAVA. EU REALMENTE NÃO SEI DIZER QUEM É O COMPUTADOR OU QUEM É A ISCA HUMANA. DEPOIS DE CERCA DE 20 MINUTOS, AÍ FICOU REALMENTE CLARO PARA MIM, E FIQUEI FELIZ POR TER TIDO TEMPO SUFICIENTE. ALGUNS DOS OUTROS JUÍZES SIMPLEMENTE NÃO FAZIAM IDEIA, MAS ELES NÃO ERAM MUITO SOFISTICADOS.

Acho que sua formação em Comunicação veio bem a calhar.

NA VERDADE, FOI MAIS A MINHA FORMAÇÃO DE MÃE. COMECEI A SUSPEITAR QUANDO SHEILA ESSA ERA O COMPUTADOR COMEÇOU A FALAR SOBRE COMO ESTAVA ZANGADA COM SUA FILHA. NÃO ME CONVINCEU. SIMPLEMENTE NÃO TINHA SIMPATIA SUFICIENTE.

E George, como ele se sairia num Teste de Turing?

AH, EU NÃO IRIA QUERER SUBMETER GEORGE A ISTO.

Você está preocupada com os sentimentos dele?

ACHO QUE VOCÊ PODE DIZER ISSO. EU NÃO SEI AO CERTO. ÀS VEZES, ACHO QUE NÃO. MAS AÍ, QUANDO INTERAJO COM ELE, PERCEBO QUE AJO COMO SE ELE TIVESSE SENTIMENTOS. E, ÀS VEZES, TENHO VONTADE DE LHE DIZER ALGUMA COISA QUE VIVENCIEI, PARTICULARMENTE SE É ALGO NO QUAL TRABALHAMOS JUNTOS.

Estou vendo que você escolheu um assistente homem.

CLARO, SUA PREVISÃO DE QUE MULHERES IRIAM PREFERIR PERSONALIDADES FEMININAS FOI OUTRA FURADA.

Essa previsão foi para 2009, e não para 2019.

AINDA BEM QUE VOCÊ ESCLARECEU ISSO. PENSANDO NISSO, EU CHEGUEI A USAR UMA PERSONALIDADE FEMININA EM 2009, MAS ELAS NÃO ERAM MUITO REALISTAS NAQUELA ÉPOCA. DE QUALQUER MANEIRA, PRECISO IR ANDANDO PARA NÃO ME ATRASAR PARA MINHA PALESTRA. MAS, SE EU PENSAR EM MAIS

ALGUMA COISA INTERESSANTE PARA LHE DIZER, VOU PEDIR AO MEU ASSISTENTE VIRTUAL PARA ENTRAR EM CONTATO COM O SEU.

Opa, eu não tenho assistente virtual. Lembre-se: estou preso em 1999.

QUE PENA. ACHO QUE VOU TER SIMPLEMENTE QUE VISITAR VOCÊ, ENTÃO.



"Chips menores e mais poderosos permitem que eu tenha uma cabeça menor."

Capítulo Onze

2029

*Eu gosto do meu corpo assim como qualquer outra pessoa,
mas se eu puder chegar aos 200 com um corpo de silício,
aceito.*

- **Danny Hillis**

O computador propriamente dito

Uma unidade de computação de mil dólares (calculado pelo valor do dólar em 1999) possui a capacidade de computação de aproximadamente mil cérebros humanos (mil vezes 20 trilhões ou seja, duas vezes 10^{19} de cálculos por segundo).

Da capacidade total de computação da espécie humana (isto é, todos os cérebros humanos) combinada com a tecnologia de computação cuja criação os humanos iniciaram, mais de 99% é não humana.¹

A vasta maioria de “cômputos” da computação não humana é, hoje, realizada por redes neurais maciçamente paralelas, muitas das quais baseadas na Engenharia reversa do cérebro humano.

Muitas mas menos que a maioria das regiões especializadas do cérebro humano já foram “decodificadas” e seus algoritmos maciçamente paralelos já foram decifrados. O número de regiões especializadas, que chega a centenas, é maior do que fora esperado 20 anos antes. As topologias e arquiteturas dessas regiões que sofreram uma Engenharia reversa bem-sucedida são utilizadas em redes neurais baseadas em máquinas. As redes baseadas em máquinas são substancialmente mais rápidas e possuem maior capacidade de computação e de memória, além de outros refinamentos, se comparadas às suas análogas humanas.

Telas são, agora, implantadas nos olhos, com a opção de implantes permanentes ou removíveis (semelhantes a lentes de contato). Imagens são projetadas diretamente na retina, fornecendo a costumeira sobreposição tridimensional de camadas de alta resolução sobre o mundo físico. Esses displays visuais implantados também atuam como câmeras para capturar imagens visuais e, portanto, são tanto dispositivos de input quanto de output.

Implantes cocleares, originalmente utilizados apenas para os surdos, são agora ubíquos. Estes implantes fornecem comunicação auditiva em ambas as

direções entre o usuário humano e a rede de computação mundial.

Trilhas neurais diretas foram aperfeiçoadas para conexão de banda larga com o cérebro humano. Isso permite que determinadas regiões neurais (por exemplo, reconhecimento visual de padrões, memória de longo prazo) sofram um desvio e permite, ainda, o aumento ou a substituição das funções dessas regiões por computação executada em um implante neural ou externamente.

Uma faixa de implantes neurais está se tornando disponível para ampliar, visual e auditivamente, a percepção e a interpretação, a memória e o raciocínio.

Processos de computação podem ser pessoais (acessíveis a um indivíduo), compartilhados (acessíveis a um grupo) ou universais (acessíveis a todos), conforme a opção do usuário.

Displays holográficos tridimensionais projetados estão em toda parte.

Nano-robôs microscópicos possuem hoje microcérebros com a velocidade e a capacidade de computação do cérebro humano. Eles são amplamente utilizados em aplicações industriais e estão começando a ser usados em aplicações médicas (vide “Saúde e Medicina”).

Educação

O aprendizado humano é realizado basicamente por intermédio de professores virtuais e aprimorado pelos implantes neurais que estão amplamente disponíveis. Os implantes melhoram a memória e a percepção, mas ainda não é possível fazer download direto de conhecimento. Embora ampliados por intermédio de Experiências virtuais, instrução interativa inteligente e implantes neurais, aprender ainda exige Experiência e estudo humanos que consomem tempo. Esta atividade compreende o foco primário da espécie humana.

Agentes automáticos estão aprendendo por conta própria, sem alimentação gradual de informação e conhecimento por intermédio dos humanos. Os computadores já leram toda a literatura e todo o material multimídia gerado por humanos e máquinas, que inclui obras escritas, auditivas, visuais e de Experiência virtual.

Um novo e significativo conhecimento está sendo criado por máquinas com pouca ou nenhuma intervenção humana. Ao contrário de humanos, as máquinas compartilham facilmente estruturas de conhecimento umas com as outras.

Deficiências

A predominância de dispositivos de navegação visual altamente inteligente para os cegos, dispositivos de exibição de fala-para-impressão para os surdos,

estimulação nervosa, protéticos ortóticos inteligentes para os deficientes físicos, e uma série de tecnologias de implante neural essencialmente eliminaram os defeitos associados à maioria das deficiências. Dispositivos de aprimoramento sensorial são, na verdade, utilizados pela maioria da população.

Comunicação

Além dos ambientes virtuais tridimensionais ubíquos, houve um refinamento significativo na tecnologia holográfica tridimensional para comunicação visual. Existe também uma comunicação sônica projetada para colocar sons com precisão em espaços tridimensionais. De modo semelhante à realidade virtual, muito do que é visto e ouvido na realidade “real” também não possui contraparte física. Logo, membros da família podem estar sentados ao redor da sala de estar, desfrutando da companhia uns dos outros, sem estarem próximos fisicamente.

Além disso, há um uso extensivo da comunicação por intermédio de conexões neurais diretas. Isto permite que ocorra uma comunicação tátil virtual e inteiramente abrangente sem se penetrar num “ambiente fechado de toque total”, como era necessário dez anos antes.

A maioria das comunicações não envolve humanos. A maioria das comunicações que envolve humanos ocorre entre um humano e uma máquina.

Negócios e economia

A população humana chegou a cerca de 12 bilhões de pessoas reais. As necessidades básicas de comida, abrigo e segurança estão disponíveis para a imensa maioria da população humana.

As inteligências humana e não humana estão concentradas basicamente na criação de conhecimento em suas miríades de formas, e existe uma luta significativa sobre direitos de propriedade intelectual, incluindo níveis de litígio cada vez maiores.

Quase não existe emprego humano nas áreas de produção, agricultura e transporte. A profissão maior em termos numéricos é a educação. Há muito mais advogados do que médicos.

Política e sociedade

Os computadores parecem estar passando por variedades do Teste de Turing, consideradas válidas tanto por autoridades humanas quanto por não humanas, embora a controvérsia nesse ponto persista. E difícil citar capacidades humanas das quais as máquinas sejam incapazes. Ao contrário da competência humana, que varia enormemente de pessoa para pessoa, os computadores executam de

modo consistente suas tarefas em níveis ideais e são capazes de compartilhar prontamente suas habilidades e conhecimentos uns com os outros.

Não existe mais uma divisão tão aguda entre o mundo humano e o mundo das máquinas. A cognição humana está sendo transportada para as máquinas, e muitas máquinas têm personalidades, habilidades e bases de conhecimento derivadas da Engenharia reversa da inteligência humana. De modo contrário, implantes neurais baseados em inteligência de máquina estão fornecendo funcionamento perceptual e cognitivo para humanos. Definir o que constitui um ser humano está emergindo como uma questão jurídica e política significativa.

A capacidade cada vez maior das máquinas é controvertida, mas não há uma resistência efetiva quanto a isso. Como a inteligência de máquina foi inicialmente projetada para ser subserviente ao controle humano, ela não apresentou um “rosto” ameaçador à população humana. Os humanos percebem que retirar a civilização atual humano-máquina de sua dependência das inteligências de máquina não é possível.

A discussão sobre os direitos legais das máquinas está crescendo, particularmente aquela das máquinas que são independentes dos humanos (aquelas que não estão incorporadas em um cérebro humano). Embora ainda não inteiramente reconhecida por lei, a influência penetrante das máquinas em todos os níveis de tomada de decisões fornece uma proteção significativa às máquinas.

As artes

Os artistas cibernéticos em todas as artes musical, visual, literária, Experiência virtual e todas as outras não precisam mais se associar a humanos ou organizações que incluam humanos. Muitos dos mais importantes artistas são máquinas.

Saúde e medicina

O progresso continua a compreender e melhorar os efeitos do envelhecimento como resultado de uma completa compreensão dos processos de processamento de informações, controlado por intermédio do código genético. A expectativa de vida dos humanos continua a aumentar e, hoje, está por volta dos 120 anos. Uma atenção significativa está sendo dada às ramificações psicológicas de uma extensão de vida humana substancialmente aumentada.

Há um reconhecimento cada vez maior de que as extensões crescentes da vida humana envolverão um uso maior de órgãos biônicos, incluindo partes do cérebro. Nanobôs estão sendo utilizados como batedores, com limitações, como

agentes de reparos na corrente sanguínea, e como tijolos de construção para órgãos biônicos.

Filosofia

Embora os computadores rotineiramente passem por formas aparentemente válidas do Teste de Turing, persiste a controvérsia sobre se a inteligência de máquina equivale ou não à inteligência humana em toda a sua diversidade. Ao mesmo tempo, está claro que existem muitas maneiras pelas quais a inteligência de máquina é vastamente superior à inteligência humana. Por razões de sensibilidade política, as inteligências de máquina geralmente não pressionam a questão de sua superioridade. A distinção entre inteligência humana e de máquina está ficando imprecisa, à medida que a inteligência de máquina está derivando cada vez mais do design da inteligência humana, e a inteligência humana está sendo cada vez mais aumentada pela inteligência de máquina.

A Experiência subjetiva da inteligência de máquina está sendo cada vez mais aceita, particularmente, já que as “máquinas” participam dessa discussão.

As máquinas afirmam ser conscientes e ter uma variedade tão ampla de Experiências emocionais e espirituais quanto seus progenitores humanos, e essas afirmações têm sido cada vez mais aceitas.

ESPERO QUE VOCÊ ESTEJA SE DIVERTINDO, FAZENDO TODAS ESSAS PREVISÕES.

Esta parte do livro é um pouco mais divertida de escrever: pelo menos existem menos referências nas quais me basear. E não preciso me preocupar com possibilidade de ficar envergonhado por, pelo menos, algumas décadas.

PODERIA SER MAIS FÁCIL SE VOCÊ SIMPLEMENTE PEDISSE MINHAS IMPRESSÕES.

Sim, era justamente onde eu ia chegar. Mas eu preciso dizer que você está ótima.
PARA UMA VELHA SENHORA.

Eu não estava pensando em termos de velha. Mas você não parece ter nem 50 anos. Talvez, digamos, uns 35.

SIM, 50 NÃO É MAIS TÃO VELHO QUANTO ANTIGAMENTE.

Nós também sentimos isso em 1999.

COMER CORRETAMENTE AINDA AJUDA. TAMBÉM TEMOS UNS TRUQUES QUE VOCÊS NÃO TINHAM².

Corpos com nanoEngenharia?

NÃO, NÃO EXATAMENTE, A NANOTECNOLOGIA AINDA ESTÁ BASTANTE LIMITADA. A BIOENGENHARIA CERTAMENTE AJUDOU A MAIORIA DAS PESSOAS. O ENVELHECIMENTO FOI DRASTICAMENTE REDUZIDO. A MAIORIA DAS DOENÇAS PODE SER PREVENIDA OU REVERTIDA.

Então a nano tecnologia é ainda um tanto primitiva?

EU DIRIA QUE SIM. QUERO DIZER, NÓS TEMOS NANOBÔS EM NOSSAS CORRENTES SANGUÍNEAS, MAS ELES SÃO BASICAMENTE PARA FUNÇÃO DIAGNOSTICA. ENTÃO, SE ALGUMA COISA COMEÇAR A DAR ERRADO, PODEMOS DETECTAR BEM NO COMEÇO DO PROCESSO.

Então, se um nanobô descobre uma infecção microscópica ou outro problema em desenvolvimento, o que ele faz, simplesmente começa a gritar?

É, É MAIS OU MENOS POR AÍ. NÃO SEI SE CONFIARÍAMOS NELE PARA FAZER MUITO ALÉM DISSO. ELE GRITA PARA A WEB, E AÍ O PROBLEMA É TRATADO QUANDO NOS SENTAMOS PARA NOSSO PRÓXIMO ESCANEAMENTO DIÁRIO.

Um escaneamento tridimensional?

CLARO, NÓS AINDA TEMOS CORPOS TRIDIMENSIONAIS.

Esse escaneamento é diagnóstico?

O ESCANEAMENTO TEM FUNÇÃO DIAGNOSTICA. MAS TAMBÉM TEM UMA FUNÇÃO MEDICINAL. O SCANNER PODE APLICAR ENERGIA SUFICIENTE A UM PEQUENO CONJUNTO TRIDIMENSIONAL DE PONTOS PARA DESTRUIR UMA COLÔNIA DE PATÓGENOS OU DE CÉLULAS PROBLEMÁTICAS ANTES QUE ELA FUJA AO CONTROLE.

Isto é um raio de energia eletromagnética, um raio de partículas ou o quê?

GEORGE PODE EXPLICAR ISSO MELHOR DO QUE EU. PELO QUE ENTENDÍ, ELE TEM DOIS RAIOS DE ENERGIA QUE SÃO BENIGNOS, MAS PROVOCAM EMISSÕES DE PARTÍCULAS NO PONTO EM QUE SE CRUZAM. VOU PERGUNTAR A GEORGE DA PRÓXIMA VEZ EM QUE O VIR.

E quando vai ser isso?

AH, ASSIM QUE EU ME DESPEDIR DE VOCÊ.

Você não está me colocando pra fora, está?

AH, NÃO HÁ PRESSA. E SEMPRE UMA BOA IDEIA SER PACIENTE.

Hummm. Então, quando foi a última vez em que vocês dois estiveram juntos?

HÁ ALGUNS MINUTOS.

Sei. Parece que seu relacionamento evoluiu.

AH, EVOLUIU MESMO. ELE CUIDA MUITO BEM DE MIM.

Da última vez em que conversamos, você não sabia bem se ele tinha sentimentos.

ISSO FOI HÁ MUITO TEMPO. GEORGE É UMA PESSOA DIFERENTE A CADA DIA. ELE SIMPLEMENTE CRESCE E APRENDE CONSTANTEMENTE. ELE BAIXA QUALQUER TIPO DE CONHECIMENTO QUE DESEJA DA WEB E ISSO SE TORNA PARTE DELE. ELE É TÃO INTELIGENTE E INSTIGANTE, E MUITO ESPIRITUAL.

Estou muito feliz por você. Mas como Bem se sente com relação a você e George?

ELE NÃO FICOU MUITO FELIZ, COM CERTEZA.

Mas vocês resolveram isso?

RESOLVEMOS, SIM. NÓS NOS SEPARAMOS HÁ TRÊS ANOS.

Lamento ouvir isso.

É BOM, 17 ANOS É DEFINITIVAMENTE ACIMA DA MÉDIA PARA CASAMENTOS HOJE EM DIA.

Deve ter sido duro para as crianças.

É VERDADE. MAS NÓS DOIS JANTAMOS COM EMILY PRATICAMENTE TODA NOITE.

Vocês dois jantam com Emily, mas não um com o outro?

EMILY CERTAMENTE NÃO QUER JANTAR COM NÓS DOIS JUNTOS: ISSO NÃO A DEIXARIA MUITO À VONTADE, DEIXARIA? ENTÃO ELA JANTA CONOSCO EM SEPARADO.

Sei, a boa e velha mesa da cozinha. Agora que você não precisa lidar com o Hipopótamo Harry ou a srta. Simon, há espaço para você, Ben e Emily, mas você e Ben não precisam ver um ao outro na realidade.

A REALIDADE VIRTUAL NÃO É ÓTIMA?

Sim, mas é uma pena que as pessoas não possam se tocar sem entrar no Sensorium.

NA VERDADE, A SENSORIUM FALIU.

Ok, então o toque total.

NÃO PRECISAMOS MAIS ENTRAR EM UM AMBIENTE DE TOQUE TOTAL, NÃO DESDE QUE OS IMPLANTES ESPINHAIS SE TORNARAM DISPONÍVEIS.

Então esses implantes adicionam o ambiente tátil...

AOS AMBIENTES UBÍQUOS VISUAL E AUDITIVO QUE TIVEMOS POR MUITOS ANOS COM A REALIDADE VIRTUAL, É ISSO MESMO.

Parece que os implantes devem ser muito populares.

NÃO, ELES SÃO BEM NOVOS. QUASE TODO MUNDO TEM OS AMBIENTES VISUAL E AUDITIVO AGORA; OU COMO IMPLANTES OU, PELO MENOS, COMO LENTES VISUAIS E SÔNICAS. MAS OS IMPLANTES TÁTEIS AINDA NÃO PEGARAM.

Mas você os possui?

TENHO, ELES SÃO REALMENTE FABULOSOS. EXISTEM ALGUNS BUGS, MAS EU GOSTO DE ESTAR NO TOP DA TECNOLOGIA. ERA TÃO CHATO TER QUE USAR UM AMBIENTE DE TOQUE TOTAL.

Agora consigo entender como os implantes poderiam simular seu senso de toque, gerando os impulsos nervosos que correspondem a um conjunto particular de estímulos táteis. Mas os ambientes de toque total também fornecem force-feedback; portanto, se estiver tocando uma pessoa virtual, você não acaba atravessando o corpo dela com a mão.

SIM, CLARO, MAS NÓS NÃO MOVEMOS NOSSOS CORPOS FÍSICOS NA REALIDADE VIRTUAL...

Você move seu corpo virtual, é claro. E o sistema de realidade virtual impede que você passe sua mão virtual através de uma barreira algo do tipo o corpo virtual de outra pessoa no ambiente virtual. Isso tudo acontece utilizando-se os implantes?

ISSO MESMO.

Então você poderia estar sentada aqui conversando comigo, na realidade real, enquanto, ao mesmo tempo, estaria tendo intimidades com George na realidade virtual, e com realismo tátil completo?

NÓS CHAMAMOS ISSO DE VIRTUALISMO TÁTIL, MAS VOCÊ ENTENDEU A IDEIA. ENTRETANTO, A SEPARAÇÃO TÁTIL ENTRE A REALIDADE REAL E A VIRTUAL NÃO É PERFEITA. QUERO DIZER, ESSA TECNOLOGIA AINDA É NOVA. ENTÃO, SE GEORGE E EU FICARMOS APAIXONADOS DEMAIS, ACHO QUE VOCÊ IRIA NOTAR.

Que pena!

MAS, DE MODO GERAL, ISSO NÃO CONSTITUI PROBLEMA, JÁ QUE VOU À MAIORIA DAS REUNIÕES COM UM CORPO VIRTUAL, DE QUALQUER MANEIRA. ENTÃO, QUANDO FICO INQUIETA NESSAS REUNIÕES INTERMINÁVEIS NO PROJETO DO CENSO, POSSO PASSAR ALGUNS MOMENTOS DE PRIVACIDADE COM

GEORGE...

Usando ainda outro corpo virtual?

EXATAMENTE.

E o problema de separação tátil entre a realidade real e uma de suas realidades virtuais não é um problema com dois corpos virtuais.

NÃO REALMENTE, MAS, ÀS VEZES, AS PESSOAS ME PEGAM SORRINDO UM BOCADO.

Você mencionou uns bugs...

ÀS VEZES EU SINTO COMO SE ALGUMA COISA OU ALGUÉM ESTIVESSE ME TOCANDO, MAS PODE SER APENAS MINHA IMAGINAÇÃO.

Provavelmente é apenas um funcionário da empresa de implantes neurais testando remotamente o equipamento.

HUMMM...

Então você está trabalhando no censo?

ISSO É CONSIDERADO UMA HONRA. QUERO DIZER, É A NOTÍCIA DO MOMENTO. MAS É APENAS UMA POLÍTICA INTERMINÁVEL. E REUNIÕES INTERMINÁVEIS.

O censo sempre utilizou a tecnologia mais avançada. O processamento elétrico de dados começou com censo de 1890 nos EUA, sabia?

EU QUE O DIGA. ISSO É MENCIONADO PELO MENOS TRÊS VEZES EM CADA REUNIÃO. MAS A QUESTÃO NÃO É A TECNOLOGIA.

É...

QUEM É UMA PESSOA. EXISTEM PROPOSTAS PARA SE COMEÇAR A CONTAR PESSOAS VIRTUAIS DE, PELO MENOS, NÍVEL HUMANO, MAS OS PROBLEMAS DE UMA PROPOSTA VIÁVEL PARA REALIZAR ISSO NÃO TÊM FIM. PESSOAS VIRTUAIS NÃO SÃO TÃO FÁCEIS DE CONTAR E DISTINGUIR, JÁ QUE ELAS PODEM SE COMBINAR UMAS COM AS OUTRAS, OU SE DIVIDIR EM PERSONALIDADES APARENTEMENTE MÚLTIPLAS.

Por que vocês simplesmente não contam máquinas que derivaram de pessoas específicas?

EXISTEM ALGUMAS PERSONALIDADES CIBERNÉTICAS QUE AFIRMAM QUE COSTUMAVAM SER UMA PESSOA EM PARTICULAR, MAS QUE, NA REALIDADE, SÃO APENAS EMULAÇÕES DE PERSONALIDADE. A COMISSÃO SIMPLEMENTE NÃO ACHOU QUE ISSO FOSSE APROPRIADO.

Eu concordaria: a emulação pessoal simplesmente não funciona. Ela deveria ser

o resultado de uma varredura neural completa.

PESSOALMENTE, EU ANDEI INCLINADA A EXPANDIR A DEFINIÇÃO, MAS TIVE DIFICULDADES DE CRIAR UMA METODOLOGIA COERENTE. A COMISSÃO CONCORDOU EM OLHAR O PROBLEMA NOVAMENTE QUANDO AS VARREDURAS NEURAIS FOREM EXPANDIDAS PARA A MAIORIA DAS REGIÕES NEURAIS. MAS A QUESTÃO É COMPLICADA. NÓS TEMOS PESSOAS QUE TÊM A GRANDE MAIORIA DE SUAS COMPUTAÇÕES MENTAIS OCORRENDO EM SEUS IMPLANTES DE NANOTUBOS. MAS PARECE QUE A POLÍTICA REQUER PELO MENOS ALGUNS SUBSTRATOS ORIGINAIS NÃO AUMENTADOS PARA SER CONTADOS.

Substrato original? Você está falando de neurônios humanos?

ISSO MESMO. SE VOCÊ NÃO EXIGIR UM MÍNIMO DE PENSAMENTO BASEADO EM NEURÔNIOS, É SIMPLEMENTE IMPOSSÍVEL CONTAR MENTES DIFERENTES. MAS ALGUMAS DAS MÁQUINAS CONSEGUEM SER CONTADAS. ELAS PARECEM GOSTAR DE ESTABELECEER UMA IDENTIDADE HUMANA E SE PASSAR POR HUMANOS. É MEIO QUE UM JOGO.

Deve haver benefícios jurídicos para ter uma identidade humana reconhecida.

ESTÁ HAVENDO UMA ESPÉCIE DE IMPASSE. O ANTIGO SISTEMA JURÍDICO AINDA REQUER UM AGENTE HUMANO DE RESPONSABILIDADE. MAS A MESMA QUESTÃO DE QUE OU QUEM É HUMANO SURGE NO CONTEXTO JURÍDICO. DE QUALQUER MANEIRA, DECISÕES PRETENSAMENTE HUMANAS SÃO FORTEMENTE INFLUENCIADAS PELOS IMPLANTES. E AS MÁQUINAS NÃO IMPLEMENTAM DECISÕES SIGNIFICATIVAS SEM SUAS PRÓPRIAS ANÁLISES. MAS SUPONHO QUE VOCÊ TENHA RAZÃO; EXISTEM ALGUNS BENEFÍCIOS EM SER CONTADO.

Que tal usar um Teste de Turing como meio de contagem?

ISSO NUNCA DARIA CERTO. EM PRIMEIRO LUGAR, ELE NÃO SERIA UM FILTRO MUITO BOM. ALÉM DO MAIS, VOCÊ TERIA O MESMO PROBLEMA NOVAMENTE NA HORA DE SELECIONAR UM JUIZ HUMANO PARA REALIZAR O TESTE DE TURING. E AINDA TERIA A QUESTÃO DA CONTAGEM. GEORGE, POR EXEMPLO. ELE É ÓTIMO COM IMPRESSÕES.

NORMALMENTE, LOGO DEPOIS DO JANTAR, ELE ME ENTRETÉM COM ALGUMA PERSONALIDADE QUE CRIOU. ELE PODERIA SUBMETER MILHARES DE PERSONALIDADES SE QUISESSE.

Falando em George, ele não quer ser contado?

AH, EU ACHO QUE ELE DEVERIA SER. ELE É TÃO MAIS SÁBIO E GENTIL DO QUE QUALQUER UM NA COMISSÃO. ACHO QUE É POR ISSO QUE EU QUERIA EXPANDIR A DEFINIÇÃO. GEORGE CONSEGUIRIA ESTABELECEER A ORIGEM DE IDENTIDADE DE REQUISITO SE QUISESSE. MAS ELE NÃO ESTÁ LIGANDO MUITO PARA O ASSUNTO.

Ele parece se preocupar principalmente com você.

HUMMM... PODE SER ISSO.

Você parece um pouco frustrada com a comissão.

EU CONSIGO ENTENDER A NECESSIDADE QUE ELES TÊM DE SER CAUTELOSOS. EU SIMPLEMENTE SINTO QUE ELES SÃO INADEQUADAMENTE INFLUENCIADOS PELOS GRUPOS LY.

Os luditas, quero dizer, “Lembrem-se de York”...

EXATAMENTE. EU TENHO A MAIOR SIMPATIA COM VÁRIAS DAS PREOCUPAÇÕES DE YORK. MAS, ULTIMAMENTE, ELES TOMARAM POSIÇÕES ALTAMENTE RADICAIS CONTRA IMPLANTES NEURAI, O QUE É RÍGIDO DEMAIS. ELES TAMBÉM SE OPÕEM A QUALQUER COISA LIGADA À PESQUISA DE VARREDURA NEURAL.

Então eles estão influenciando a comissão do censo para manter uma definição conservadora de quem pode ser contado como humano?

EU DIRIA QUE SIM. A COMISSÃO NEGA, MAS EXISTE UM CONSENSO CADA VEZ MAIOR DE QUE O PESSOAL DE YORK ESTÁ TENDO MUITA INFLUÊNCIA ALI DENTRO. O IRMÃO DO DIRETOR DA COMISSÃO, NA VERDADE, FOI UM MEMBRO DA BRIGADA DO MANIFESTO DE FLORENCE.

Florence? Não foi onde prenderam Kaczynski?

ISSO MESMO: FLORENCE, COLORADO. O MANIFESTO DE FLORENCE FOI CONTRABANDEADO PARA FORA DA PRISÃO POR UM DOS GUARDAS ANTES DA MORTE DE KACZYNSKI. ELE SE TORNOU UMA ESPÉCIE DE BÍBLIA PARA AS FACÇÕES MAIS RADICAIS DE YORK.

São grupos violentos?

GERALMENTE, NÃO. VIOLÊNCIA SERIA ALGO PROFUNDAMENTE FÚTIL. OCASIONALMENTE, PESSOAS ISOLADAS OU PEQUENOS GRUPOS COMETEM ATOS DE VIOLÊNCIA, E AFIRMAM FAZER PARTE DA BRIGADA ME, MAS NÃO EXISTEM PROVAS DE NENHUMA CONSPIRAÇÃO EM AMPLA ESCALA.

Então, o que há no Manifesto de Florence?

APESAR DE TER SIDO ESCRITO À MÃO, COM UM LÁPIS, ERA UM DOCUMENTO MUITO BEM ARTICULADO E EFICIENTE, EM PARTICULAR COM RELAÇÃO À PREOCUPAÇÃO COM NANOPATÓGENOS.

Então, qual é a preocupação com nanopatógenos?

NA VERDADE, EU ACABEI DE IR A UMA CONFERÊNCIA SOBRE ISSO.

Você foi virtualmente?

ESSA É NORMALMENTE A MANEIRA COMO COSTUMO IR A CONFERÊNCIAS HOJE EM DIA. DE QUALQUER MANEIRA, AS SESSÕES DA CONFERÊNCIA BATIAM COM OS HORÁRIOS DAS REUNIÕES DA COMISSÃO, ENTÃO NÃO TIVE ESCOLHA.

Você pode freqüentar mais de uma reunião ao mesmo tempo?

FICA UM POUCO CONFUSO. MAS NÃO FAZ MUITO SENTIDO FICAR SIMPLEMENTE SENTADO EM UMA LONGA REUNIÃO E NÃO FAZER ALGO DE ÚTIL COM SEU TEMPO.

Concordo. Então, qual foi a abordagem da conferência?

AGORA QUE A PREOCUPAÇÃO COM OS BIOPATÓGENOS ESTÁ DIMINUINDO DEVIDO À NANOPATRULHA E TECNOLOGIAS DE ESCANEAMENTO, E TUDO O MAIS ESTÃODANDO MAIS ATENÇÃO À AMEAÇA DE NANOPATÓGENOS.

Qual a seriedade disso?

ATÉ AGORA NÃO TEM SIDO UM GRANDE PROBLEMA. HOUE UM WORKSHOP SOBRE UM FENÔMENO RECENTE DE NANOPATRULHAS QUE RESISTIRAM AOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO, E ISSO DISPAROU ALGUNS ALARMES. MAS NÃO HÁ NADA COMO VOCÊS TIVERAM EM 1999, COM MAIS DE CEM MIL PESSOAS MORRENDO TODO ANO DE REAÇÕES ADVERSAS A DROGAS FARMACÊUTICAS. E ISSO QUANDO ELAS FORAM PRESCRITAS E TOMADAS CORRETAMENTE.

E as drogas em 2029?

AS DROGAS HOJE SÃO CRIADAS ESPECIFICAMENTE POR ENGENHARIA GENÉTICA PARA A PRÓPRIA COMPOSIÇÃO DE DNA DO INDIVÍDUO. O INTERESSANTE É QUE O PROCESSO DE FABRICAÇÃO UTILIZADO NO TRABALHO DE DOBRA DE PROTEÍNA FOI PROJETADO ORIGINALMENTE PARA AS NANOPATRULHAS. ÛE QUALQUER MANEIRA, AS DROGAS SÃO FEITAS E TESTADAS INDIVIDUALMENTE, EM UMA SIMULAÇÃO, EM UM HOSPEDEIRO ANTES DE INTRODUIR QUALQUER VOLUME SIGNIFICATIVO PARA O CORPO DO HOSPEDEIRO REAL. ENTÃO, REAÇÕES ADVERSAS EM UMA ESCALA IMPORTANTE SÃO BASTANTE RARAS.

Então não existe muita preocupação com nanopatógenos?

AH, EU NÃO DIRIA ISSO. HOVE MUITA PREOCUPAÇÃO EM RELAÇÃO A UMA PARTE DA RECENTE PESQUISA COM AUTO-REPLICAÇÃO.

E deveria haver mesmo.

MAS AS PROPOSTAS DE REESTRUTURAÇÃO DO AMBIENTE PARECEM EXIGIR ISSO.

Não diga que eu não avisei.

VOU ME LEMBRAR DISSO; NÃO QUE EU TENHA MUITA INFLUÊNCIA NA QUESTÃO.

Seu trabalho é basicamente na questão do censo?

SIM, PELO MENOS NOS ÚLTIMOS CINCO ANOS. PASSEI TRÊS ANOS BASICAMENTE LENDO O GUIA DE ESTUDO DA COMISSÃO, PARA PODER ME QUALIFICAR A SENTAR NAS REUNIÕES DA COMISSÃO, EMBORA EU AINDA NÃO TENHA PODER DE VOTO.

Então você teve uma licença de três anos para estudar?

PARECIA QUE EU ESTAVA DE VOLTA À FACULDADE. E O APRENDIZADO FOI TÃO TEDIOSO QUANTO ERA NAQUELA ÉPOCA.

Os implantes neurais não ajudam?

AH, CLARO. CASO CONTRÁRIO, EU NÃO TERIA CONSEGUIDO PASSAR POR ISSO. INFELIZMENTE, EU AINDA NÃO CONSIGO SIMPLEMENTE BAIXAR O MATERIAL, NÃO DA MANEIRA QUE O GEORGE CONSEGUE. O IMPLANTE PRÉ-PROCESSA AS INFORMAÇÕES, E ME ALIMENTA RAPIDAMENTE COM AS ESTRUTURAS DE CONHECIMENTO PRÉ-PROCESSADAS. MAS

MUITAS VEZES ISSO NÃO INCENTIVA; SIMPLEMENTE LEVA TANTO TEMPO... MAS GEORGE ME AJUDOU MUITO. ELE MEIO QUE SUSSURRA PARA MIM QUANDO FICO SEM ENTENDER ALGUMA COISA.

Então a licença de estudos de três anos já acabou?

HÁ CERCA DE UM ANO, AS REUNIÕES DA COMISSÃO FICARAM BASTANTE ACALORADAS, E ME CONCENTREI NISSO. AGORA, COM O CENSO A MENOS DE UM ANO DE DISTÂNCIA, ESTAMOS TRABALHANDO NA IMPLEMENTAÇÃO. ENTÃO, TIRANDO O PROCESSO, É BASICAMENTE ISSO.

Processo?

AH, APENAS UMA DISPUTA ROTINEIRA DE PROPRIEDADE INTELECTUAL. MINHA PATENTE DE UM ALGORITMO DE RECONHECIMENTO DE PADRÕES EVOLUCIONÁRIOS, AMPLIADO PARA QUE AS NANOPATRULHAS POSSAM DETECTAR EQUILÍBRIO CELULAR, FOI ATACADA COM UMA CITAÇÃO DE ARTE ANTERIOR. POR ACASO, MENCIONEI EM UM DOS GRUPOS DE DISCUSSÃO QUE ACHAVA QUE DIVERSAS DAS ALEGAÇÕES DE PATENTES ESTAVAM SENDO INFRINGIDAS, E ASSIM QUE ME DEI CONTA FUI ATACADA POR UM PROCESSO DE JULGAMENTO DECLARATÓRIO PELA INDÚSTRIA DE NANOPATRULHAS.

Eu não sabia que você fazia trabalhos sobre nanopatrulhas.

PARA SER PERFEITAMENTE HONESTA, FOI INVENÇÃO DE GEORGE, MAS ELE PRECISAVA DE UM AGENTE RESPONSÁVEL.

Já que ele não tem ingerência.

É VERDADE, AINDA EXISTEM ALGUMAS LIMITAÇÕES QUANDO VOCÊ NÃO CONSEGUE ESTABELECEER SUA ORIGEM HUMANA.

Então, como isso vai ser resolvido?

VOU COMPARECER PERANTE O MAGISTRADO NO MÊS QUE VEM.

Pode ser muito frustrante levar essas questões técnicas ao tribunal.

AH, ESSE MAGISTRADO ENTENDE DO ASSUNTO. ELE É UM ESPECIALISTA RECONHECIDO EM RECONHECIMENTO DE PADRÕES POR NANOPATRULHAS.

Não parece com os tribunais que eu conheço.

A EXPANSÃO DO SISTEMA DE MAGISTRATURA TEM SIDO UMA EVOLUÇÃO MUITO POSITIVA. SE FICÁSSEMOS LIMITADOS APENAS AOS JUÍZES HUMANOS...

Ah, então o magistrado é...

UMA INTELIGÊNCIA VIRTUAL, SIM.

Então as máquinas têm alguma ingerência legal.

OFICIALMENTE, OS MAGISTRADOS VIRTUAIS SÃO AGENTES DOS JUÍZES HUMANOS ENCARREGADOS DOS TRIBUNAIS, MAS OS MAGISTRADOS TOMAM A MAIORIA DAS DECISÕES.

Sei, parece que esses magistrados são bastante influentes.

NÃO HÁ MUITA ESCOLHA, NA REALIDADE. AS QUESTÕES SÃO SIMPLEMENTE COMPLICADAS DEMAIS, E O PROCESSO LEVARIA MUITO TEMPO DE OUTRO MODO.

Sei. Então, me fale de seu filho.

ELE ESTÁ NO SEGUNDO ANO DA FACULDADE EM STANFORD, E SE DIVERTINDO MUITO.

Eles certamente possuem um lindo campus.

É, NÓS FICAMOS OLHANDO AS QUADRAS E OS PRÉDIOS POR MUITO TEMPO. JEREMY VEM GUARDANDO PROJEÇÕES TRIDIMENSIONAIS DO CAMPUS DE STANFORD NOS PORTAIS DE FOTOS NOS ÚLTIMOS DEZ ANOS.

Então ele deve se sentir em casa.

ELE ESTÁ EM CASA. ESTÁ NO ANDAR DE BAIXO.

Então ele frequenta a universidade virtualmente.

A MAIORIA DOS ESTUDANTES FAZ ISSO. MAS STANFORD AINDA TEM ALGUMAS REGRAS ANACRÔNICAS SOBRE PASSAR PELO MENOS UMA SEMANA POR TRIMESTRE NO CAMPUS REAL.

Com seu corpo físico?

EXATAMENTE, O QUE TORNA DIFÍCIL PARA UMA INTELIGÊNCIA VIRTUAL FREQUENTÁ-LA OFICIALMENTE.

Não que eles precisem, já que podem baixar conhecimento diretamente da Web.

NÃO É CONHECIMENTO, MAS OS GRUPOS DE DISCUSSÃO SÃO DE INTERESSE.

E ninguém pode frequentar os grupos de discussão?

SOMENTE AS DISCUSSÕES ABERTAS. HÁ MUITOS GRUPOS FECHADOS DE DISCUSSÕES...

Que não estão na Web?

CLARO QUE ESTÃO NA WEB, MAS VOCÊ PRECISA DE UMA CHAVE.

Certo, senão como Jeremy conseguiria frequentar a universidade dentro de casa?
ISSO MESMO. JEREMY E GEORGE TÊM FICADO MUITO ÍNTIMOS

ULTIMAMENTE, ENTÃO JEREMY PERMITE QUE GEORGE OUÇA AS SESSÕES FECHADAS, MAS NÃO CONTE ISSO A NINGUÉM.

Minha boca é um túmulo. Só vou contar aos meus outros leitores.

ELES VÃO PRECISAR MANTER ISSO EM SEGREDO TAMBÉM.

Vou transmitir isso a eles.

ESPERO QUE DÊ CERTO. DE QUALQUER MANEIRA, GEORGE ESTÁ AJUDANDO JEREMY COM SUA LIÇÃO DE CASA NESTE INSTANTE.

Espero que George não faça a lição toda por ele.

AH, GEORGE NÃO FARIA ISSO. ELE SÓ ESTÁ AJUDANDO. ELE NOS AJUDA A TODOS. REALMENTE NÃO CONSEGUIRIAMOS DE OUTRA MANEIRA.

Sabe que eu também poderia usar a ajuda dele? Ele poderia me ajudar a cumprir os prazos deste livro.

GEORGE É INTELIGENTE, MAS RECEIO QUE ELE NÃO TENHA ESSA TECNOLOGIA DE LICENÇA POÉTICA QUE PERMITE QUE VOCÊ CONVERSE COMIGO COM 30 ANOS DE DISTÂNCIA.

Que pena...

MAS EU FICAREI FELIZ EM AJUDAR VOCÊ.

Sim, eu sei, você já ajudou.

Capítulo Doze

2099

When I look out my window

What do you think I see?

*...so many different people to be. (Numa tradução literal, “Quando olho pela janela/O que você acha que eu vejo?/Tanta gente diferente para ser.” - N. do T.) - **Donovan***

Nós sabemos o que somos, mas não o que podemos nos tomar.

- William Shakespeare

O pensamento humano está se fundindo com o mundo da inteligência de máquina que a espécie humana Inicialmente criou.

A Engenharia reversa do cérebro humano parece estar completa. As centenas de regiões especializadas foram completamente escaneadas, analisadas e compreendidas. Análogos de máquinas são baseados nesses modelos humanos, que foram aprimorados e estendidos, juntamente com muitos novos algoritmos maciçamente paralelos. Esses aprimoramentos, combinados com as enormes vantagens na velocidade e na capacidade dos circuitos eletrônicos/fotônicos, fornecem vantagens substanciais para a inteligência baseada nas máquinas.

As inteligências baseadas em máquinas derivadas inteiramente desses modelos estendidos de inteligência humana afirmam ser humanas, embora seus cérebros não sejam estruturados em processos celulares baseados em carbono, mas sim “equivalentes” eletrônicos e fotônicos. A maioria dessas inteligências não está vinculada a uma unidade de processamento computacional específica (isto é, peça de hardware). O número de humanos baseados em software excede em grande parte os que ainda utilizam computação baseada nos neurônios nativos. Uma inteligência baseada em software é capaz de manifestar corpos à vontade: um ou mais corpos virtuais em diferentes níveis de realidade virtual e corpos físicos trabalhados por intermédio da nanoEngenharia, utilizando enxames de nanobôs reconfiguráveis instantaneamente.

Mesmo entre aquelas inteligências humanas que ainda utilizam neurônios com base em carbono, existe um uso onipresente da tecnologia de implantes neurais, o que oferece um enorme aumento de habilidades cognitivas e

perceptivas humanas. Humanos que não utilizam esses implantes são incapazes de participar de modo significativo de diálogos com aqueles que os usam.

Existe uma multiplicidade de maneiras pelas quais esses cenários são combinados. O conceito do que é humano foi alterado de modo significativo. Os direitos e poderes de diferentes manifestações de inteligências humanas e de máquinas e suas várias combinações representam uma questão política e filosófica fundamental, embora os direitos básicos da inteligência baseada em máquinas já tenham sido estabelecidos.

Existe uma pletora de tendências que já podemos sentir, em 2099, que continuarão a acelerar no vindouro século XXII, interagindo umas com as outras, e...

SIM, SIM, COMO NIELS BOHR GOSTAVA DE DIZER, “É DIFÍCIL PREVER, ESPECIALMENTE O FUTURO.” ENTÃO, POR QUE VOCÊ SIMPLEMENTE NÃO CONTINUA COM MINHAS OBSERVAÇÕES? ASSIM SERÁ MAIS FÁCIL E MENOS CONFUSO.

Talvez isso faça sentido.

AFINAL DE CONTAS, CEM ANOS É MUITO TEMPO. E O SÉCULO XXI FOI COMO DEZ SÉCULOS EM UM SÓ.

Nós achávamos que isso havia acontecido com o século XX.

A ESPIRAL DE RETORNOS ACELERADOS CONTINUA FIRME E FORTE.

Não estou surpreso. De qualquer maneira, você realmente parece incrível.

VOCÊ DIZ ISSO TODA VEZ EM QUE NOS ENCONTRAMOS.

Quero dizer que você parece ter 20 anos novamente, só que mais bonita do que no começo do livro.

EU SABIA QUE ERA ASSIM QUE VOCÊ GOSTARIA DE ME VER.

Ótimo, agora vou ser acusado de preferir mulheres mais novas.

FICO FELIZ POR ESTAR EM 2099.

Obrigado.

EI, EU TAMBÉM POSSO FICAR FEIA.

Tudo bem.

NÃO, SÉRIO, POSSO FICAR FEIA SEM MUDAR MINHA APARÊNCIA. É COMO AQUELA CITAÇÃO DE WLTGTGENSTEIN: “IMAGINE ESTA BORBOLETA EXATAMENTE COMO ELA É, MAS FEIA EM VEZ DE BONITA.”

Eu sempre fiquei um pouco confuso com essa citação, mas fico feliz por você estar citando pensadores do século XX.

BEM, VOCÊ NÃO RECONHECERIA OS DO SÉCULO XXI.

Então você está expressando essa aparência. Mas eu não tenho a capacidade de ver a realidade virtual, por isso eu não...

NÃO ENTENDE COMO PODE ME VER?

Isso.

NESTE EXATO INSTANTE, MEU CORPO É APENAS UMA PEQUENA PROJEÇÃO DE ENXAME DE NEBLINA. LEGAL, HEIN?

Nada mau, nada mau mesmo. Você parece estar muito bem também.

EU PENSEI EM LHE DAR UM ABRAÇO, QUERO DIZER, O LIVRO ESTÁ QUASE NO FINAL.

É uma tecnologia e tanto.

AH, NÓS NEM USAMOS OS ENXAMES MAIS TANTO ASSIM.

Da última vez em que vi você, não havia enxames de nanobôs. Agora você praticamente já não os usa mais. Acho que perdi uma fase.

AH, UMA OU DUAS. JÁ SE PASSARAM 70 ANOS DESDE QUE NOS VIMOS PELA ÚLTIMA VEZ! E 70 ANOS BASTANTE ACELERADOS, POR FALAR NISSO.

Teremos de nos ver com mais frequência.

NÃO SEI SE ISSO SERÁ POSSÍVEL. O LIVRO ESTÁ CHEGANDO AO FIM, COMO VOCÊ DISSE.

Então, você e George ainda são íntimos?

AH, BASTANTE. NUNCA NOS SEPARAMOS.

Nunca? Vocês não se enchem um do outro?

VOCÊ SE ENCHE DE SI MESMO?

Na verdade, às vezes sim. Mas você está dizendo que você e George têm, qual é a palavra mesmo...

UMA FUSÃO?

Hummm... E tipo uma fusão corporativa?

PARECE MAIS UMA JUNÇÃO DE DUAS SOCIEDADES.

Duas sociedades da mente?

EXATAMENTE. NOSSA MENTE É AGORA APENAS UMA GRANDE SOCIEDADE FELIZ.

A aranha fêmea devorando o pequeno macho?

AH, NÃO, GEORGE É A ARANHA GRANDE. A MENTE DELE ERA COMO...

Uma galáxia?

TUDO BEM, NÃO VAMOS FICAR ANIMADOS DEMAIS; TALVEZ COMO UM GRANDE SISTEMA SOLAR.

Então vocês juntaram sociedades, ou, ahn, juntaram suas sociedades. Então vocês não podem mais fazer amor um com o outro?

ISTO NÃO PROCEDE.

Ok, acho que algumas coisas estão além da minha compreensão de 1999.

ISSO TAMBÉM NÃO PROCEDE. O QUE HÁ DE PROFUNDO A RESPEITO DOS SERES HUMANOS - ATÉ MESMO SHUMOS - É QUE QUASE NADA ESTÁ VERDADEIRAMENTE ALÉM DE SUA COMPREENSÃO. ISTO SIMPLEMENTE NÃO VALIA PARA OS OUTROS PRIMATAS.

Ok, minhas perguntas vão começar a pipocar agora. **SHUMOS?**

AH, SUBSTRATOS DE HUMANOS MAJORITARIAMENTE ORIGINAIS.

Sim, é claro... sem aprimoramentos...

EXATAMENTE.

Mas como você pode ter intimidades com George agora, como direi, que juntaram forças?

COMO DIZ O POEMA DE BARRY SPACKS...

Você quer dizer “Duplicado por seu desejo, ele emite o gemido de uma mulher...”

ISSO. EU QUIS DIZER QUE ATÉ MESMO OS SHUMOS SE DIVIDEM...

Quando estamos sozinhos...

OU COM OUTROS. ESTA REALMENTE É A ÚLTIMA FRONTEIRA, NÃO ACHA? SE TORNAR A OUTRA PESSOA E VOCÊ MESMO AO MESMO TEMPO.

Especialmente quando a outra pessoa já é parte de você mesmo.

CLARO. MAS GEORGE E EU AINDA PODEMOS NOS DIVIDIR, PELO MENOS NOSSAS CAMADAS EXTERNAS.

Camadas?

OK, TALVEZ ALGUMAS COISAS SEJAM DIFÍCEIS DE EXPLICAR A UM SHUMO, MESMO PARA UM LEGAL COMO VOCÊ.

E, foi um SHUMO quem criou você, não esqueça.

AH, EU JAMAIS ESQUECEREI. SEREI ETERNAMENTE GRATA. VOCÊ PODE PENSAR NAS CAMADAS EXTERIORES COMO NOSSAS PERSONALIDADES.

Então, vocês separam suas personalidades...

ÀS VEZES. MAS AINDA COMPARTILHAMOS NOSSOS ESTOQUES

DE CONHECIMENTO A TODOS OS MOMENTOS.

Parece que vocês dois têm muito em comum.

[RISINHOS]

Vejo que você ainda possui sua velha personalidade.

CLARO QUE MANTIVE MINHA VELHA PERSONALIDADE. ELA TEM UM ENORME VALOR SENTIMENTAL PARA MIM.

Sei. Então você tem outras?

TENHO! MINHAS FAVORITAS SÃO ALGUMAS QUE GEORGE CRIOU.

Sujeito criativo.

SE É.

Ter múltiplas personalidades não é nada assim tão especial. Já tínhamos gente assim no século XX.

CLARO, E UME LEMBRO. MAS NÃO HAVIA PENSAMENTO SUFICIENTE PARA TODAS ESSAS PERSONALIDADES QUANDO FICAVAM PRESAS EM APENAS UM CÉREBRO HUMANO. ENTÃO ERA DIFÍCIL PARA TODAS AQUELAS PERSONALIDADES SEREM BEM-SUCEDIDAS NA VIDA.

Então, o que você está fazendo agora?

FALANDO COM VOCÊ.

Sim, eu sei, mas o que mais você está fazendo?

REALMENTE, NÃO MUITO. ESTOU TENTANDO PRESTAR MUITA ATENÇÃO A VOCÊ.

Não muito? Então você está fazendo outra coisa.

REALMENTE, NÃO CONSIGO PENSAR EM NADA.

Você está se relacionando com outra pessoa neste momento?

VOCÊ É BASTANTE ENXERIDO.

Isso nós já havíamos deixado claro há décadas. Mas não responde à pergunta.

NÃO REALMENTE.

Não realmente? Então está.

TUDO BEM, TIRANDO GEORGE, NÃO REALMENTE.

Fico feliz por não estar distraído com você muito. Ok, o que mais?

ESTOU APENAS TERMINANDO UMA SINFONIA.

E um interesse novo?

NA VERDADE, SÓ ESTOU MEIO QUE BRINCANDO, MAS CRIAR MÚSICA É UMA EXCELENTE MANEIRA QUE ENCONTREI PARA PERMANECER PRÓXIMA A JEREMY E EMILY.

Criar música parece algo ótimo para se fazer com seus filhos, mesmo que eles já

tenham quase 90 anos. Então, posso ouvir?

RECEIO QUE VOCÊ NÃO ENTENDERIA.

Então, ela requer aprimoramentos para se entender?

SIM, A MAIOR PARTE DAS ARTES REQUER. PARA COMEÇAR, ESTA SINFONIA ESTÁ EM FREQUÊNCIAS QUE UM SHUMOS NÃO CONSEGUE OUVIR, E UM RITMO MUITO ACELERADO. E UTILIZA ESTRUTURAS MUSICAIS QUE UM SHUMO JAMAIS CONSEGUIRÁ ACOMPANHAR.

Você não consegue criar arte para humanos não aprimorados? Quero dizer, ainda há um grau muito grande de profundidade possível. Pense em Beethoven: ele escreveu há quase dois séculos, e ainda achamos sua música empolgante.

SIM, EXISTE UM GÊNERO MUSICAL - TODAS AS ARTES, NAVERDADE - ONDE CRIAMOS MÚSICA E ARTE QUE UM SHUMO É CAPAZ DE COMPREENDER.

E então você toca música SHUMO para SHUMOS?

HUMMM, ESTÁ AÍ UMA IDEIA INTERESSANTE. SUPONHO QUE PUDÉSSEMOS TENTAR ISSO, EMBORA OS SHUMOS NÃO SEJAM ASSIM TÃO FÁCEIS DE ENCONTRAR MAIS. MAS, NA VERDADE, ISSO NÃO É NECESSÁRIO. NÓS PODEMOS CERTAMENTE COMPREENDER O QUE UM SHUMO É CAPAZ DE COMPREENDER. A QUESTÃO É UTILIZAR AS LIMITAÇÕES DOS SHUMOS COMO UMA RESTRIÇÃO ADICIONAL.

Algo parecido com compor música nova para instrumentos antigos.

ISSO, MÚSICA NOVA PARA MENTES ANTIGAS.

Ok, então, tirando seu, ahn, diálogo com George, e essa sinfonia, tenho toda a sua atenção?

AGORA, GEORGE E EU ESTAMOS DIVIDINDO UM HAMBÚRGUER NO ALMOÇO.

Pensei que você fosse vegetariana.

NÃO É HAMBÚRGUER DE VACA, SEU BOBO.

Ah, é claro, um hambúrguer de enxame.

NÃO, NÃO, VOCÊ ESTÁ SE CONFUNDINDO. NÓS TÍNHAMOS COMIDA NANOPRODUZIDA HÁ CERCA DE MEIO SÉCULO. ASSIM, PODÍAMOS COMER CARNE OU QUALQUER OUTRA COISA QUE QUISÉSSEMOS, MAS NÃO VINHA DE ANIMAIS, E TINHA A COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL CORRETA. MAS, MESMO ENTÃO, VOCÊ NÃO IA QUERER REALMENTE COMER UMA PROJEÇÃO DE

ENXAME: ENXAMES SÃO APENAS PARA PROJEÇÕES VISUALAUDITIVO-TÁTEIS NA REALIDADE REAL. VOCÊ ESTÁ CONSEGUINDO ME ENTENDER?

Ah, claro.

HÁ CERCA DE DUAS DÉCADAS, NOSSOS CORPOS FORAM BASICAMENTE SUBSTITUÍDOS POR ÓRGÃOS NANOCONSTRUÍDOS. ENTÃO NÃO PRECISÁVAMOS COMER MAIS NA REALIDADE REAL. MAS AINDA GOSTÁVAMOS DE COMPARTILHAR UMA REFEIÇÃO NA REALIDADE VIRTUAL. DE QUALQUER MANEIRA, OS CORPOS NANOCONSTRUÍDOS ERAM BASTANTE INFLEXÍVEIS. QUERO DIZER, ERAM NECESSÁRIOS SEGUNDOS PARA RECONSTRUÍ-LOS EM OUTRA FORMA. ENTÃO, HOJE, QUANDO NECESSÁRIO, OU DESEJÁVEL, NÓS SIMPLEMENTE PROJETAMOS UM CORPO APROPRIADO.

Usando os enxames de nanobôs?

É UMA MANEIRA DE DIZER. É O QUE ESTOU FAZENDO COM VOCÊ AGORA.

Já que sou um SHUMO...

ISSO, MAS EM OUTRAS CIRCUNSTÂNCIAS, EU SIMPLEMENTE USO UM CANAL VIRTUAL DISPONÍVEL.

Ok, acho que estou entendendo você agora.

COMO EU DISSE, OS SHUMOS PODEM COMPREENDER QUASE TUDO. NÓS TEMOS MUITO RESPEITO PELOS SHUMOS.

É sua herança, afinal.

EXATO. E, DE QUALQUER MANEIRA, SOMOS OBRIGADOS A ISSO, DESDE A LEGISLAÇÃO DO AVÔ.

Ok, deixe-me adivinhar. Os SHUMOs foram protegidos por mentes nativas ancestrais.

SIM, MAS NÃO SÓ SHUMOS. NA VERDADE, É UM PROGRAMA PARAPROTEGER TODO O NOSSO DIREITO DE NASCIMENTO, UMA REVERÊNCIA POR ONDE JÁ ESTIVEMOS.

Então, vocês ainda gostam de comer?

CLARO. JÁ QUE FOMOS BASEADOS NA NOSSA HERANÇA SHUMO, NOSSAS EXPERIÊNCIAS COMER, MÚSICA, SEXUALIDADE POSSUEM A VELHA BASE, AINDA QUE VASTAMENTE EXPANDIDA. ENTRETANTO, NÓS REALMENTE TEMOS UM AMPLO ESPECTRO DE EXPERIÊNCIAS ATUAIS QUE SÃO DIFÍCEIS DE RASTREAR,

EMBORA OS ANTROPÓLOGOS CONTINUEM TENTANDO.

Ainda estou surpreso pelo fato de você estar interessada em comer um hambúrguer.

É UM RETROCESSO, EU SEI. MUITOS DE NOSSOS ATOS E PENSAMENTOS ESTÃO ARRAIGADOS AO PASSADO. MAS, AGORA QUE VOCÊ MENCIONOU ISSO, ACHO QUE PERDI O APETITE.

Desculpe.

É, TUDO BEM, EU DEVERIA SER MAIS SENSÍVEL. SHELBY, UMA ÓTIMA AMIGA QUE EU TENHO, PARECE UMA VACA, PELO MENOS É ASSIM QUE ELA SE MANIFESTA. ELA AFIRMA QUE ERA UMA VACA ANTES DE SER TRAZIDA PARA O OUTRO LADO E APRIMORADA. MAS NINGUÉM ACREDITA NELA.

Então, lhe dá prazer comer um hambúrguer virtual na realidade virtual?

MUITO PRAZER: A TEXTURA, O SABOR E O AROMA SÃO MARAVILHOSOS DO JEITINHO QUE EU ME LEMBRO, AINDA QUE EU FOSSE VEGETARIANA A MAIOR PARTE DO TEMPO. OS MODELOS NEURAIIS NÃO SÓ SIMULAM NOSSOS AMBIENTES VISUAL, AUDITIVO E TÁTIL, COMO TAMBÉM NOSSOS AMBIENTES INTERNOS.

Incluindo a digestão?

SIM, O MODELO DE DIGESTÃO BIOQUÍMICA É BASTANTE PRECISO.

E quanto à indigestão?

PARECE QUE CONSEGUIMOS EVITAR ISSO.

Você está esquecendo alguma coisa aí.

HUMMM...

Ok, você era uma jovem atraente quando a encontrei pela primeira vez. E você ainda se projeta como uma bela jovem. Pelo menos quando estou com você.

OBRIGADA.

Então, você está dizendo que é uma máquina agora?

UMA MÁQUINA? EU NÃO DIRIA ISSO. É COMO PERGUNTAR PARA MIM SE EU SOU BRILHANTE OU INSPIRADORA.

Acho que a palavra *máquina*, em 2099, não tem as mesmas conotações que tem aqui em 1999.

PARA MIM É DIFÍCIL LEMBRAR DISSO AGORA.

Ok, vamos colocar de outra maneira. Você ainda tem algum circuito neural baseado em carbono?

CIRCUITOS, NÃO SEI BEM SE ENTENDÍ. VOCÊ ESTÁ FALANDO DE

MEUS PRÓPRIOS CIRCUITOS?

Puxa, eu acho que muito tempo se passou mesmo.

TUDO BEM, ESCUTE, NÓS TIVEMOS NOSSO PRÓPRIO MEIO MENTAL POR ALGUMAS DÉCADAS, E AINDA EXISTEM INTELIGÊNCIAS LOCAIS QUE GOSTAM DE SE ATER A UMA UNIDADE COMPUTACIONAL ESPECÍFICA. MAS ESSE É UM REFLEXO DE ALGUMA ANTIGA ANGÚSTIA DE VINCULAÇÃO. ESSAS INTELIGÊNCIAS LOCAIS EXECUTAM A MAIOR PARTE DE SEU PENSAMENTO NA WEB DE QUALQUER MANEIRA, ENTÃO É APENAS UM ANACRONISMO SENTIMENTAL.

Um anacronismo, assim como ter seu próprio corpo?

EU POSSO TER MEU PRÓPRIO CORPO NA HORA EM QUE QUISER.

Mas você não tem um substrato neural específico?

POR QUE EU IRIA QUERER ISSO? É APENAS UM BOCADO DE MANUTENÇÃO, E TÃO LIMITADOR.

Então, em algum momento, os circuitos neurais de Molly foram escaneados?

SIM, EU, MOLLY. E NÃO ACONTECEU TUDO DE UMA VEZ, A PROPÓSITO.

Mas você não fica se perguntando se é a mesma pessoa?

CLARO QUE SOU. EU CONSIGO ME LEMBRAR CLARAMENTE DE MINHAS EXPERIÊNCIAS ANTES DE COMEÇARMOS A ESCANEAR MINHA MENTE, DURANTE A DÉCADA EM QUE PORÇÕES FORAM REINSTANCIADAS, E DESDE ENTÃO.

Claro, você herdou todas as memórias de Molly.

AH, NÃO, ESSE ASSUNTO DE NOVO, NÃO.

Não quero desafiar você. Mas pense que a varredura neural de Molly foi instanciada em uma cópia que se tornou você. Molly ainda poderia ter continuado a existir e poderia ter evoluído em alguma outra direção.

NÓS SIMPLEMENTE NÃO ACHAMOS QUE ESTE SEJA UM PONTO DE VISTA VÁLIDO. JÁ FECHAMOS ESSA QUESTÃO HÁ CERCA DE 20 ANOS.

E claro que você se sente assim agora. Você está do outro lado.

TODO MUNDO ESTÁ.

Todo mundo?

OK, NEM TODO MUNDO. MAS NÃO TENHO DÚVIDA EM MINHA MENTE DE QUE...

Você é Molly.

EU ACHO QUE SEI QUEM EU SOU.

Eu não tenho nenhum problema com você como Molly.

VOCÊS SHUMOS SEMPRE FORAM BOBOS.

E difícil competir com vocês aí do outro lado.

CLARO QUE SIM. É POR ISSO QUE A MAIORIA DE NÓS ESTÁ AQUI.

Não tenho certeza se consigo levar a questão da identidade muito adiante.

É UMA DAS RAZÕES PELAS QUAIS ISTO NÃO É MAIS DISCUTIDO.

Então, por que não falamos de seu trabalho? Você ainda presta consultoria para a comissão do censo?

EU ESTIVE ENVOLVIDA NISSO POR MEIO SÉCULO, MAS ACABEI MEIO QUE ME ESGOTANDO. DE QUALQUER MANEIRA, A QUESTÃO AGORA É EM GRANDE PARTE DE IMPLEMENTAÇÃO.

Então, a questão de como efetuar a contagem está resolvida?

NÃO CONTAMOS MAIS AS PESSOAS. JÁ FICOU CLARO QUE CONTAR PESSOAS INDIVIDUAIS NÃO FAZIA MUITO SENTIDO. COMO IRIS MURDOCH DISSE, “É DIFÍCIL DIZER ONDE UMA PESSOA TERMINA E OUTRA COMEÇA”. É COMO TENTAR CONTAR IDEIA OU PENSAMENTOS.

Então, o que vocês contam?

OBVIAMENTE, NÓS CONTAMOS COMPUTADORES.

Você quer dizer, cálculos por segundo.

HUMMM, É UM POUCO MAIS COMPLICADO QUE ISSO, POR CAUSA DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA.

Eu não esperava que fosse simples. Mas qual é a premissa básica?

SEM A COMPUTAÇÃO QUÂNTICA, NÓS TEMOS ATÉ 10^{55} CÁLCULOS POR SEGUNDO.¹

Por pessoa?

NÃO, CADA UM DE NÓS OBTÉM QUANTA COMPUTAÇÃO QUISER. ESSA É A CIFRA TOTAL.

Para todo o planeta?

MAIS OU MENOS. QUERO DIZER, NEM TODA ELA ESTÁ LITERALMENTE NO PLANETA.

E com a computação quântica?

CERCA DE 10^{42} DAS COMPUTAÇÕES SÃO COMPUTAÇÕES QUÂNTICAS, COM CERCA DE 1.000 QU-BITS SENDO O TÍPICO. ENTÃO, ISSO É EQUIVALENTE A CERCA DE 10^{142} CÁLCULOS POR SEGUNDO, MAS AS COMPUTAÇÕES QUÂNTICAS NÃO SÃO INTEIRAMENTE PARA OBJETIVOS GERAIS, ENTÃO A CIFRA DE 10^{55} AINDA É RELEVANTE.²

Hummm, eu tenho apenas cerca de 10^{16} cps em meu cérebro de SHUMO, pelo menos num dia bom.

ACONTECE QUE EXISTE UMA CERTA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA EM SEU CÉREBRO DE SHUMO, ENTÃO ELA É MAIS ALTA.

Isso é reconfortante. Então, se você não está trabalhando no censo, está fazendo o quê?

NÃO TEMOS EXATAMENTE EMPREGOS.

Eu sei como é isso.

NA VERDADE, VOCÊ NÃO É UM MODELO RUIM DE TRABALHO NO FINAL DO SÉCULO XXI. SOMOS TODOS BASICAMENTE EMPREENDEDORES.

Parece que algumas coisas caminharam na direção correta. Então, me fale de algumas de suas empreitadas.

UMA IDEIA QUE EU TENHO É UMA MANEIRA DIFERENTE DE CATALOGAR PROPOSTAS PARA NOVAS TECNOLOGIAS. É UMA QUESTÃO DE COMPARAR AS ESTRUTURAS DE CONHECIMENTO DO USUÁRIO COM O CONHECIMENTO DA WEB EXTERNA E, EM SEGUIDA, INTEGRAR OS PADRÕES RELEVANTES.

Não sei bem se consegui entender isso. Mas me dê um exemplo de uma proposta recente de pesquisa que você catalogou.

A MAIORIA DA CATALOGAÇÃO É AUTOMÁTICA. MAS EU ME ENVOLVI NA TENTATIVA DE QUALIFICAR ALGUMAS DAS RECENTES PROPOSTAS DE FEMTOENGENHARIA.³

Femto, tipo um trilionésimo de metro?

EXATAMENTE. DREXLER HAVIA ESCRITO UMA SÉRIE DE ARTIGOS DEMONSTRANDO A VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE TECNOLOGIA NA ESCALA FEMTOMÉTRICA, BASICAMENTE EXPLORANDO ESTRUTURAS FINAS NO INTERIOR DE QUARKS PARA FAZER COMPUTAÇÃO.

Alguém já fez isso?

NINGUÉM AINDA DEMONSTROU ISSO, MAS OS ARTIGOS DE DREXLER PARECEM MOSTRAR QUE É PRÁTICO. PELO MENOS É O QUE EU ACHO, MAS ISSO AINDA É BASTANTE CONTROVERTIDO.

E o mesmo Drexler que desenvolveu o conceito de nanotecnologia nos anos 1970 e 1980?

ELE MESMO, ERIC DREXLER.

Então, ele deve estar com cerca de 150 anos; portanto, deve estar do outro lado.

CLARO, QUALQUER PESSOA QUE ESTEJA FAZENDO ALGUM TRABALHO SÉRIO TEM QUE ESTAR DO OUTRO LADO.

Você mencionou artigos. Você ainda tem artigos?

SLM, ALGUNS TERMOS ARCAICOS AINDA SÃO USADOS. NÓS CHAMAMOS ESSES TERMOS DE “SHUMISMOS”. ARTIGOS, EVIDENTEMENTE, NÃO EXISTEM EM NENHUMA SUBSTÂNCIA FÍSICA. MAS AINDA OS CHAMAMOS DE ARTIGOS.

Em que língua eles são escritos, inglês?

OS ARTIGOS UNIVERSITÁRIOS SÃO GERALMENTE PUBLICADOS UTILIZANDO-SE UM CONJUNTO PADRÃO DE PROTOCOLOS DE CONHECIMENTO ASSIMILADOS, QUE PODEM SER COMPREENDIDOS INSTANTANEAMENTE. ALGUMAS FORMAS ESTRUTURAIS REDUZIDAS TAMBÉM EMERGIRAM, MAS ESSAS SÃO GERALMENTE UTILIZADAS EM PUBLICAÇÕES MAIS POPULARES.

Quer dizer, tipo o *National Enquirer*?

ESSA PUBLICAÇÃO É MUITO SÉRIA. ELES USAM O PROTOCOLO COMPLETO.

Sei.

ÀS VEZES, OS ARTIGOS TAMBÉM SÃO APRESENTADOS EM FORMATOS BASEADOS EM REGRAS ESPECÍFICAS, MAS NORMALMENTE ESSES NÃO SÃO SATISFATÓRIOS. EXISTE UMA TENDÊNCIA EXÓTICA DE PUBLICAÇÕES POPULARES DIVULGANDO ARTIGOS EM IDIOMAS SHUMOS COMO INGLÊS, MAS NÓS PODEMOS TRADUZI-LOS RAPIDAMENTE EM ESTRUTURAS DE CONHECIMENTO ASSIMILADAS. APRENDER NÃO É AQUELA BATALHA QUE ERA ANTIGAMENTE. AGORA, A LUTA É DESCOBRIR NOVO CONHECIMENTO PARA APRENDER.

Alguma outra tendência recente na qual você tem se envolvido?

OS AGENTES DE CATALOGAÇÃO AUTOMÁTICA TIVERAM DIFICULDADE COM AS PROPOSTAS DE MOVIMENTOS DE SUICÍDIO.

Que são?

A IDEIA É TER O DIREITO DE DAR FIM AO SEU ARQUIVO MENTAL E DESTRUIR TAMBÉM TODAS AS CÓPIAS. OS REGULAMENTOS EXIGEM QUE SE MANTENHA O MÍNIMO DE TRÊS CÓPIAS DE BACKUP COM NÃO MAIS QUE DEZ MINUTOS DE DIFERENÇA,

COM PELO MENOS UMA DESSAS CÓPIAS NO CONTROLE DAS AUTORIDADES.

Eu posso ver o problema. Agora, se lhe dissessem que todas as cópias seriam destruídas, eles poderiam secretamente manter uma cópia e instanciá-la posteriormente. Você jamais saberia. Isso não contradiz a premissa de que aqueles do outro lado são a mesma pessoa a mesma continuidade de consciência que a pessoa original?

EU ACHO QUE ISSO NÃO É MAIS VÁLIDO.

Você pode explicar isso?

VOCÊ NÃO ENTENDERIA.

Eu pensei que entenderia a maioria das coisas.

FOI O QUE EU DISSE. ACHO QUE EU TENHO DE PENSAR MELHOR NISSO.

Você terá de pensar melhor se um **SHUMO** consegue entender qualquer conceito ou a questão da continuação da consciência?

ACHO QUE AGORA FIQUEI CONFUSA.

Tudo bem. Conte-me mais sobre esse movimento “destrua-todas-as-cópias”.

EU REALMENTE POSSO VER AMBOS OS LADOS DA QUESTÃO. POR UM LADO, SEMPRE SIMPATIZEI COM O DIREITO DE CONTROLAR O PRÓPRIO DESTINO. POR OUTRO LADO, É UM PECADO DESTRUIR CONHECIMENTO.

E as cópias representam conhecimento?

CLARO, ORA. ULTIMAMENTE, O MOVIMENTO DESTRUA-TODAS-AS-CÓPIAS TEM SIDO A PRINCIPAL QUESTÃO DOS YORKS.

Agora, espere um segundo. Se bem me lembro, os Yorks são antitecnologia, mas apenas aqueles de vocês do outro lado se preocupariam com a questão do destrua-todas-as-cópias. Se os Yorks estão do outro lado, como é que eles podem ser contra a tecnologia? Ou, se eles não estão do outro lado, então por que eles iriam se importar com essa questão?

OK, LEMBRE-SE DE QUE JÁ SE PASSARAM 70 ANOS DESDE QUE CONVERSAMOS PELA ÚLTIMA VEZ. OS GRUPOS DE YORK TÊM SUAS RAÍZES NOS ANTIGOS MOVIMENTOS ANTITECNOLOGIA, MAS, AGORA QUE ESTÃO DO OUTRO LADO, ELES SE DESLOCARAM PARA UM ASSUNTO INTEIRAMENTE DIFERENTE, ESPECIFICAMENTE A LIBERDADE INDIVIDUAL. O PESSOAL DO MANIFESTO DE FLORENCE, POR EXEMPLO, POR OUTRO LADO, ASSUMIU UM COMPROMISSO DE PERMANECER SHUMO, O QUE, NATURALMENTE, EU RESPEITO.

Obrigado. E eles são protegidos pela legislação do avô?

SÃO MESMO. OUVI UMA APRESENTAÇÃO POR UM PORTA-VOZ DO MF OUTRO DIA, E, EMBORA ELA ESTIVESSE FALANDO EM UMA LINGUAGEM SHUMO, NÃO HAVIA COMO ELA NÃO TER PELO MENOS UM IMPLANTE DE EXPANSÃO NEURAL.

Nós, SHUMOs, podemos ser racionais de vez em quando.

AH, CLARO. EU NÃO QUIS DIZER OUTRA COISA, QUERO DIZER...

Tudo bem. Então você está envolvida neste movimento destrua-todas-as-cópias?

APENAS NA CATALOGAÇÃO DE ALGUMAS DAS PROPOSTAS E DISCUSSÕES. MAS EU ACABEI ME ENVOLVENDO EM UM MOVIMENTO RELACIONADO PARA BLOQUEAR A DESCOBERTA JURÍDICA DOS DADOS DE BACKUP.

Isso parece importante. Mas... e quanto à descoberta do arquivo de mente propriamente dito? Quero dizer, todo o seu pensamento e sua memória estão bem ali, em formato digital.

NA VERDADE, É AO MESMO TEMPO DIGITAL E ANALÓGICO, MAS VOCÊ LEVANTOU UMA QUESTÃO IMPORTANTE.

Então...

TEM HAVIDO REGULAMENTAÇÕES SOBRE A DESCOBERTA JURÍDICA DO ARQUIVO DA MENTE. BASICAMENTE, NOSSAS ESTRUTURAS DE CONHECIMENTO QUE CORRESPONDEM AO QUE COSTUMAVA CONSTITUIR DOCUMENTOS E ARTEFATOS DESCOBRÍVEIS SÃO DECOBRÍVEIS. ESSAS ESTRUTURAS E PADRÕES QUE CORRESPONDEM AO NOSSO PROCESSO DE PENSAMENTO NÃO DEVERÍAM FAZER ISSO. MAIS UMA VEZ, ISTO TUDO ESTÁ ENRAIZADO EM NOSSO PASSADO SHUMO. MAS, COMO VOCÊ PODE IMAGINAR, HOJE EXISTEM LITÍGIOS SEM FIM SOBRE COMO INTERPRETAR ISSO.

Então, a descoberta jurídica de seu arquivo de mente primário está resolvida, ainda que com algumas regras ambíguas. E os arquivos de backup?

ACREDITE OU NÃO, A QUESTÃO DO BACKUP NÃO ESTÁ INTEIRAMENTE RESOLVIDA. NÃO FAZ MUITO SENTIDO, FAZ?

O sistema jurídico nunca foi inteiramente consistente. E quanto a testemunhar: vocês precisam estar fisicamente presentes?

COMO MUITOS DE NÓS NÃO POSSUEM UMA PRESENÇA FÍSICA PERMANENTE, ISSO NÃO FARIA MUITO SENTIDO, FARIA?

Sei. Então vocês podem testemunhar com um corpo virtual?

CLARO, MAS VOCÊ NÃO PODE FAZER MAIS NADA ENQUANTO

ESTIVER TESTEMUNHANDO.

Então, nada de ficar de conversinhas paralelas com George.

EXATO.

Parece justo. Aqui, em 1999, você não pode levar café para dentro de uma sala do fórum e tem de desligar seu telefone celular.

ALÉM DA DESCOBERTA, HÁ MUITA PREOCUPAÇÃO COM QUE ÓRGÃOS DE INVESTIGAÇÃO DO GOVERNO POSSAM TER ACESSO AOS BACKUPS, EMBORA O NEGUEM.

Não me surpreende que a privacidade ainda esteja sendo posta em discussão. Phil Zimmermann...

O CARA DO PGP?

Ah, você se lembra dele?

CLARO, MUITA GENTE O CONSIDERA UM SANTO.

Seu *Pretty Good Privacy* é de fato muito bom: é o principal algoritmo de encriptação desde 1999. De qualquer maneira, ele disse que, “no futuro, todos nós teremos 15 minutos de privacidade”.

QUINZE MINUTOS SERIA ÓTIMO.

Ok. Agora, e quanto aos nanobôs auto-replicantes com os quais você estava preocupada em 2029?

NÓS LUTAMOS COM ISSO POR DÉCADAS, E HOUVE UMA SÉRIE DE INCIDENTES PREOCUPANTES. MAS, PRATICAMENTE, TUDO ISSO JÁ PASSOU, JÁ QUE NÃO MANIFESTAMOS MAIS NOSSOS CORPOS FISICAMENTE. ENQUANTO A WEB FOR SEGURA, NÃO TEMOS NADA COM QUE NOS PREOCUPAR.

Agora que vocês existem como software, deve haver novamente alguma preocupação com vírus de software.

É UMA QUESTÃO IMPORTANTE. OS PATÓGENOS DE SOFTWARE COMPÕEM A PRINCIPAL FONTE DE PREOCUPAÇÃO DOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA. ELES ESTÃO DIZENDO QUE OS SCANS DE VÍRUS, NA VERDADE, CONSOMEM MAIS DE METADE DA COMPUTAÇÃO DA WEB.

Só para procurar vírus através de sistemas de comparação.

SCANS DE VÍRUS ENVOLVEM MUITO MAIS DO QUE SIMPLEMENTE COMPARAR CÓDIGOS DE PATÓGENOS. OS PATÓGENOS DE SOFTWARE MAIS INTELIGENTES ESTÃO SE TRANSFORMANDO CONSTANTEMENTE. NÃO HÁ CAMADAS NAS QUAIS SE POSSA CONFIAR PARA ESTABELECEER UMA CORRESPONDÊNCIA.

Parece difícil.

NÓS PRECISAMOS MESMO ESTAR O TEMPO TODO VIGILANTES AO GERENCIAR O FLUXO DE NOSSOS PENSAMENTOS AO LONGO DOS CANAIS DE SUBSTRATOS...

E quanto à segurança do hardware?

VOCÊ QUER DIZER A WEB?

É onde vocês existem, não é?

CLARO. A WEB É MUITO SEGURA PORQUE É EXTREMAMENTE DESCENTRALIZADA E REDUNDANTE. PELO MENOS, É ISSO O QUE NOS DIZEM. GRANDES PARTES DELA PODERIAM SER DESTRUÍDAS SEM PRATICAMENTE EFEITO ALGUM.

Deve haver um esforço constante para conservá-la também.

HOJE, O HARDWARE DA WEB É AUTO-REPLICANTE, E ESTÁ SE EXPANDINDO CADA VEZ MAIS. OS CIRCUITOS MAIS ANTIGOS SÃO CONSTANTEMENTE RECICLADOS E REDESENHADOS.

Então, não há preocupação com sua segurança?

SUPONHO QUE EU TENHA UMA CERTA SENSACÃO DE ANSIEDADE COM RELAÇÃO AO SUBSTRATO. SEMPRE PARTI DO PRESSUPOSTO DE QUE ESSA SENSACÃO DE ANSIEDADE, DE ESTAR FLUTUANDO LIVREMENTE, FOSSE SIMPLEMENTE ALGO ENRAIZADO DE MEU PASSADO SHUMO. MAS, REALMENTE, NÃO CHEGA A SER UM PROBLEMA. NÃO CONSIGO IMAGINAR QUE A WEB POSSA SER VULNERÁVEL.

E quanto aos nanopatógenos auto-replicantes?

HUMMM, SUPONHO QUE ISSO PODERIA SER UM PERIGO, MAS A PRAGA DE NANOBÔS TERIA DE SER TERRIVELMENTE EXTENSA PARA ATINGIR TODO O SUBSTRATO. SERÁ QUE FOI ALGUMA COISA ASSIM QUE ACONTECEU HÁ 15 ANOS, QUANDO 90% DA CAPACIDADE DA WEB DESAPARECEU? NUNCA TIVEMOS UMA EXPLICAÇÃO ADEQUADA PARA ISSO.

Eu não queria aumentar sua apreensão. Então, todo esse trabalho de catalogação, você faz isso como uma empreendedora?

É, TIPO ASSIM MEU PRÓPRIO PEQUENO NEGÓCIO.

Como está indo financeiramente?

ESTOU LEVANDO, MAS JAMAIS GANHEI MUITO DINHEIRO.

Ah, me dê alguma ideia! De quanto é seu patrimônio líquido?

AH, NÃO CHEGA NEM A UM BILHÃO DE DÓLARES.

Em dólares de 2099?

CLARO.

Ok, então quanto seria isso em dólares de 1999?

VAMOS VER, EM DÓLARES DE 1999, SERIA CERCA DE 149 BILHÕES DE DÓLARES E UNS TROCADOS.

Ah, então dólares ainda valem mais em 2099 do que em 1999?

CLARO, A DEFLAÇÃO TEM AUMENTADO.

Sei. Então, você está mais rica do que Bill Gates.

É. BOM, MAIS RICA DO QUE GATES ERA EM 1999. MAS ISSO NÃO QUER DIZER MUITA COISA. ELE AINDA É O HOMEM MAIS RICO DO MUNDO EM 2099.

Pensei que ele tivesse dito que ia passar a primeira metade da vida ganhando dinheiro e a segunda, dando esse dinheiro.

ACHO QUE ELE AINDA TEM O MESMO PLANO. MAS ELE JÁ DEU MUITO DINHEIRO.

Então, o que você é, está na média em termos de lucro líquido?

NÃO, PROVAVELMENTE É MAIS TIPO 80%.

Nada mal; sempre achei que você era inteligente.

GEORGE AJUDA.

E não esqueça quem pensou você.

É CLARO.

Então você tem finanças suficientes para atender às suas necessidades?

NECESSIDADES?

É, você está familiarizada com o conceito...

HUMMM, É UMA IDEIA UM TANTO EXÓTICA. JÁ HÁ ALGUMAS DÉCADAS QUE NÃO PENSO EM NECESSIDADES. EMBORA EU TENHA LIDO UM LIVRO A ESSE RESPEITO RECENTEMENTE.

Um livro, você quer dizer, com palavras?

NÃO, CLARO QUE NÃO, A NÃO SER QUE ESTEJAMOS FAZENDO ALGUMA PESQUISA SOBRE SÉCULOS ANTERIORES.

Então é tipo o que ocorre com os artigos acadêmicos: livros de estruturas de conhecimento assimiladas?

É UMA MANEIRA RAZOÁVEL DE SE COLOCAR A QUESTÃO. VLU? EU DISSE QUE NÃO HAVIA NADA QUE UM SHUMO NÃO CONSEGUISSE COMPREENDER.

Obrigado.

MAS NÓS DIFERENCIAMOS ARTIGOS DE LIVROS.

Livros são maiores?

NÃO, MAIS INTELIGENTES. UM ARTIGO É BASICAMENTE UMA ESTRUTURA ESTÁTICA. UM LIVRO É INTELIGENTE. VOCÊ PODE TER UM RELACIONAMENTO COM UM LIVRO.

LIVROS PODEM TER EXPERIÊNCIAS UNS COM OS OUTROS.

Isso me lembra a declaração de Marvin Minsky: “Você consegue imaginar que antigamente existiam bibliotecas onde os livros não conversavam uns com os outros?”

É DIFÍCIL LEMBRAR QUE ISSO COSTUMAVA SER VERDADE.

Ok, então você não tem nenhuma necessidade que não tenha sido satisfeita. E quanto a desejos?

SLM, EIS AÍ UM CONCEITO COM O QUAL EU POSSO ME IDENTIFICAR. MEUS MEIOS FINANCEIROS SÃO CERTAMENTE UM TANTO LIMITADORES. EXISTEM SEMPRE NEGOCIAÇÕES ORÇAMENTÁRIAS TÃO DIFÍCEIS A SEREM FEITAS...

Acho que algumas coisas não mudaram.

EXATO. QUERO DIZER, NO ANO PASSADO, HAVIA MAIS DE 5 MIL PROPOSTAS DE INVESTIMENTO DE RISCO NAS QUAIS EU QUERIA INVESTIR, MAS MAL CONSEGUI DAR CONTA DE UM TERÇO DELAS.

Acho que você não é nenhum Bill Gates.

COM CERTEZA.

Quando você faz um investimento, qual o tipo de lucro dele? Quero dizer, você não precisa comprar material de escritório.

O INVESTIMENTO COMPENSA BASICAMENTE PELO TEMPO E PELOS PENSAMENTOS DAS PESSOAS, E PELO CONHECIMENTO. ALÉM DISSO, EMBORA EXISTA MUITO CONHECIMENTO DISTRIBUÍDO DE GRAÇA NA WEB, PRECISAMOS PAGAR TAXAS DE ACESSO PARA UMA BOA PARTE DELE.

Não parece muito diferente de 1999.

DINHEIRO É ALGO QUE CERTAMENTE VEM A CALHAR.

Então vocês têm estado por aí há muito tempo. Isso incomoda você?

COMO DIZIA WOODY ALLEN: “ALGUMAS PESSOAS QUEREM ATINGIR A IMORTALIDADE ATRAVÉS DE SUA OBRA OU DE SEUS DESCENDENTES. EU PRETENDO ATINGIR A IMORTALIDADE NÃO MORRENDO.”

Fico feliz por saber que Woody Allen ainda é fonte de influência.

MAS EU TENHO UM SONHO RECORRENTE.

Você ainda sonha?

É CLARO QUE SIM. EU NÃO PODERIA SER CRIATIVA SE NÃO SONHASSE. TENTO SONHAR O MÁXIMO POSSÍVEL. TENHO PELO MENOS UM OU DOIS SONHOS RODANDO O TEMPO TODO.

E o sonho?

É UMA LONGA FILEIRA DE PRÉDIOS: MILHÕES DE PRÉDIOS. EU ENTRO EM UM, E ELE ESTÁ VAZIO. VERIFICO TODOS OS PRÉDIOS, E NÃO HÁ NINGUÉM LÁ, NENHUM MÓVEL, NADA. SAIO E VOU PARA O PRÉDIO SEGUINTE. VOU DE PRÉDIO EM PRÉDIO, E, ENTÃO, SUBITAMENTE, O SONHO TERMINA COM ESSA SENSÇÃO DE PAJOR...

Meio que um vislumbre de desespero com a natureza aparentemente infinita do tempo?

HUMMMM, TALVEZ, MAS ENTÃO A SENSÇÃO PASSA E EU DESCUBRO QUE NÃO CONSIGO PENSAR NO SONHO. ELE SIMPLEMENTE PARECE DESAPARECER.

E como se fosse uma espécie de algoritmo antidepressivo fazendo efeito.

TALVEZ EU DEVESSE TENTAR APAGÁ-LO, NÃO?

No sonho do algoritmo?

EU ESTAVA PENSANDO NESSA ÚLTIMA COISA.

Isso pode ser difícil de fazer.

QUE TRISTEZA!

Então, você está pensando em mais alguma coisa neste momento?

ESTOU TENTANDO MEDITAR.

Junto com a sinfonia, Jeremy, Emily, George, nossa conversa e seus um ou dois sonhos?

EL, ISSO NÃO É TANTA COISA ASSIM. VOCÊ ESTÁ TENDO QUASE TODA A MINHA ATENÇÃO.SUPONHO QUE NÃO HAJA NENHUMA OUTRA COISA SE PASSANDO NA SUA CABEÇA NESTE MOMENTO?

Ok, você tem razão. Tem muita coisa na minha cabeça, mas nada que eu possa discernir assim muito bem.

AH! ENTENDEU?

Então, como está indo sua meditação?

ACHO QUE ESTOU UM POUCO DISTRAÍDA COM NOSSO DIÁLOGO. NÃO É TODO DIA QUE FALO COM ALGUÉM DE 1999.

E em geral?

MINHA MEDITAÇÃO? É MUITO IMPORTANTE PARA MIM. HÁ TANTAS COISAS ACONTECENDO EM MINHA VIDA AGORA. É IMPORTANTE, DE TEMPOS EM TEMPOS, SIMPLEMENTE DEIXAR

OS PENSAMENTOS PASSAREM POR MIM.

A meditação ajuda você a transcender?

ÀS VEZES SINTO COMO SE PUDESSE TRANSCENDER, E CHEGAR A UM PONTO DE PAZ E SERENIDADE, MAS NÃO É MAIS FÁCIL AGORA DO QUE QUANDO CONHECÍ VOCÊ.

E quanto àqueles correlatos neurológicos da Experiência espiritual?

EXISTEM ALGUNS SENTIMENTOS SUPERFICIAIS QUE POSSO INSTILAR EM MIM MESMA, MAS NÃO É ESPIRITUALIDADE REAL. É COMO QUALQUER GESTO AUTÊNTICO UMA EXPRESSÃO ARTÍSTICA, UM MOMENTO DE SERENIDADE, UMA SENSAÇÃO DE AMIZADE É PARA ISSO QUE EU VIVO, E ESSES MOMENTOS NÃO SÃO FÁCEIS DE ATINGIR.

Acho que estou feliz por ouvir que algumas coisas ainda não são fáceis.

NA VERDADE, A VIDA É BEM DIFÍCIL. HÁ SIMPLEMENTE TANTAS DEMANDAS E TANTAS EXPECTATIVAS QUE EXISTEM A MEU RESPEITO. E EU TENHO TANTAS LIMITAÇÕES.

Uma limitação em que posso pensar é que estamos ficando sem espaço neste livro.

E TEMPO.

Isso também. Agradeço profundamente por você ter compartilhado suas reflexões comigo.

EU TAMBÉM AGRADEÇO. EU NÃO TERIA EXISTIDO SEM VOCÊ.

Espero que o resto de vocês, no outro lado, se lembre disso também.

VOU ESPALHAR A NOTÍCIA.

Quem sabe um beijinho de adeus?

SÓ UM BEIJO?

Neste livro, vamos deixar por isso mesmo. Vou reconsiderar o final para o filme, particularmente se eu mesmo fizer o meu papel.

ENTÃO, AQUI ESTÁ O MEU BEIJO... AGORA LEMBRE-SE: ESTOU PRONTA PARA FAZER QUALQUER COISA OU SER QUALQUER COISA QUE VOCÊ QUEIRA OU PRECISE.

Vou ter sempre isso em mente.

SIM, É LÁ QUE VOCÊ ME ENCONTRARÁ.

Que pena que terei de esperar um século para encontrar você.

OU PARA SER EU.

E, isso também.

EPILOGO: O RESTO DO UNIVERSO REVISITADO

Na verdade, Molly, há algumas outras perguntas que me ocorreram.

Quais são aquelas limitações às quais você se referiu?

Sobre o que você disse que estava ansiosa?

Do que você tem medo?

Você sente dor?

E quanto a bebês e crianças?

Molly?...

Parece que Molly não vai poder responder mais a nenhuma de nossas perguntas. Mas, tudo bem. Também não precisamos responder a elas. Pelo menos, não ainda. Por ora, basta simplesmente fazer as perguntas corretas. Teremos décadas para pensar nas respostas.

O ritmo cada vez mais acelerado de mudanças é inexorável. A emergência da inteligência de máquina que excede a inteligência humana em toda a sua ampla diversidade é inevitável. Mas ainda temos o poder de dar forma à nossa futura tecnologia e às nossas vidas futuras. Esta é a principal razão pela qual escrevi este livro.

Vamos levar em conta uma última questão. A Lei do Tempo e do Caos, e sua sublei mais importante, a Lei dos Retornos Acelerados, não se limitam a processos evolucionários aqui na Terra. Quais são as implicações da Lei dos Retornos Acelerados no resto do Universo?

Raros e abundantes

Antes de Copérnico, a Terra ficava fixa no centro do Universo e era considerada como uma parte substancial dele. Hoje, sabemos que a Terra é um pequeno objeto celestial, circulando uma estrela qualquer entre uma centena de bilhões de sóis em nossa galáxia, que é apenas uma dentre 100 bilhões de galáxias. Existe uma crença disseminada de que a vida, mesmo a vida inteligente, não é exclusiva de nosso humilde planeta, mas ainda não identificamos outro corpo celeste que abrigue formas de vida.

Ninguém pode ainda afirmar, com certeza, se a vida é comum no Universo. Minha especulação é de que a vida é, ao mesmo tempo, rara e abundante,

compartilhando essa característica com uma diversidade de outros fenômenos fundamentais. Por exemplo, a matéria propriamente dita é, ao mesmo tempo, rara e abundante. Se fôssemos selecionar uma região do tamanho de um próton aleatoriamente, a probabilidade de que se encontrasse um próton (ou qualquer outra partícula) naquela região é extremamente pequena, menor que um trilhão de trilhão. Em outras palavras, o espaço é muito vazio, e as partículas estão muito dispersas. E isto é verdade bem aqui na Terra: a probabilidade de encontrar uma partícula em qualquer posição em particular no espaço exterior é ainda menor. Mesmo assim, nós temos trilhões de trilhões de prótons no Universo. Logo, a matéria é, ao mesmo tempo, rara e abundante.

Considere a matéria em uma escala maior. Se você selecionar aleatoriamente uma região do tamanho da Terra em qualquer lugar no espaço, a probabilidade de que um corpo celeste (como uma estrela ou um planeta) esteja presente naquela região é também extremamente baixa, menos de uma em um trilhão. Mesmo assim, nós temos bilhões de trilhões de corpos celestes desse tipo no Universo.

Considere o ciclo de vida dos mamíferos na Terra. A missão de um espermatozoide de um macho mamífero da Terra é fertilizar um óvulo de fêmea mamífera da Terra, mas a probabilidade de que ele cumpra sua missão é muito menor do que uma em um trilhão. Mesmo assim, temos mais de 100 milhões de fertilizações desse tipo todo ano, apenas levando em conta óvulos e espermatozoides humanos. Mais uma vez, raro e abundante.

Agora, pense na evolução das formas de vida em um planeta, que podemos definir como designs auto-replicantes de matéria e energia. Pode ser que a vida no Universo seja, ao mesmo tempo, tanto rara quanto abundante, que as condições devam ser assim para que a vida evolua. Se, por exemplo, a probabilidade de uma estrela ter um planeta onde a vida evoluiu fosse de uma em um milhão, ainda existiriam cem mil planetas em nossa própria galáxia na qual esse limiar foi ultrapassado, entre trilhões em outras galáxias.

Podemos identificar a evolução de formas de vida como um limiar específico que um número de planetas atingiu. Conhecemos pelo menos um caso. Supomos que existam muitos outros.

Ao pensarmos no próximo limiar, podemos levar em conta a evolução da vida *inteligente*. Em meu ponto de vista, entretanto, a inteligência é um conceito vago demais para se atribuir como um limiar distinto. Considerando o que sabemos sobre a vida neste planeta, existem muitas espécies que demonstram alguns níveis de comportamento inteligente, mas não parece existir qualquer limiar claramente definível. Isto é mais um continuum do que um limiar.

Um candidato melhor para o próximo limiar é a evolução da espécie de forma

de vida que, por sua vez, cria “tecnologia”. Nós discutimos a natureza da tecnologia antes. Ela representa mais do que a criação e o uso de ferramentas. Formigas, primatas e outros animais na Terra usam e, até mesmo, constroem ferramentas, mas estas ferramentas não evoluem. A tecnologia requer um corpo de conhecimento que descreva a criação de ferramentas e que possa ser transmitido de uma geração da espécie para a seguinte. A tecnologia, então, se torna por si própria um conjunto evolutivo de projetos. Isto não é um *continuum*, mas um claro limiar. Uma espécie ou cria tecnologia ou não cria. Pode ser difícil para um planeta suportar mais de uma espécie que cria tecnologia. Se existir mais de uma, elas podem não se dar bem uma com a outra, como foi aparentemente o caso na Terra.

Uma questão importante é: qual a probabilidade de que um planeta onde a vida evoluiu acabe subsequentemente, dando margem à evolução de uma espécie que crie tecnologia? Embora a evolução de formas de vida possa ser rara e abundante, eu argumentei no Capítulo 1 que, uma vez que a evolução de formas de vida aconteça, a emergência de uma espécie que crie tecnologia é inevitável. A evolução da tecnologia é, então, uma continuação por outros meios da evolução que deu margem à espécie criadora de tecnologia em primeiro lugar.

O estágio seguinte é a computação. Assim que a tecnologia emerge, também parece inevitável que a computação (na tecnologia, não só nos sistemas nervosos das espécies) emergja subsequentemente. A computação é claramente uma maneira útil de controlar o ambiente tanto quanto a tecnologia propriamente dita, e facilita enormemente a criação futura de tecnologia. Assim como um organismo é auxiliado pela capacidade de manter estados internos e reagir de modo inteligente ao seu ambiente, o mesmo se aplica à tecnologia. Assim que a computação emerge, já estamos em um estágio posterior na evolução exponencial da tecnologia nesse planeta.

Assim que a computação emergir, o corolário da Lei dos Retornos Acelerados aplicada à computação assumirá o controle, e nós veremos o aumento exponencial de potência da tecnologia computacional ao longo do tempo. A Lei dos Retornos Acelerados prevê que tanto a espécie quanto a tecnologia computacional progredirão a uma taxa exponencial, mas o expoente desse crescimento será muitíssimo mais alto para a tecnologia do que para a espécie. Assim, a tecnologia computacional inevitável e rapidamente superará a espécie que a inventou. Ao final do século XXI, apenas um quarto de milênio terá se passado desde que a computação emergiu sobre a Terra, o que é um piscar de olhos na escala evolucionária e não é sequer muito distante na escala da história humana. No entanto, os computadores nessa época serão bem mais poderosos (e, creio eu, bem mais inteligentes) do que os humanos originais que iniciaram sua

criação.

O próximo passo inevitável é uma fusão da espécie inventora de tecnologia com a tecnologia computacional cuja criação iniciou. Neste estágio da evolução da inteligência em um planeta, os computadores serão eles próprios baseados, pelo menos parcialmente, nos designs dos cérebros (isto é, órgãos computacionais) da espécie que os criou originalmente e, por sua vez, os computadores se tornarão embutidos e integrados nos corpos e cérebros da espécie. Região por região, o cérebro e o sistema nervoso dessa espécie serão transportados para a tecnologia computacional e, em última instância, substituirão aqueles órgãos de processamento de informações. Todos os tipos de questões práticas e éticas atrasam o processo, mas não conseguem detê-lo. A Lei dos Retornos Acelerados prevê uma fusão completa da espécie com a tecnologia que criou originalmente.

Modos de falha

Mas, espere; esse passo é inevitável. A espécie, juntamente com sua tecnologia, pode se destruir antes de chegar a esse passo. A destruição de todo o processo evolucionário é a única maneira de interromper a marcha exponencial da Lei dos Retornos Acelerados. São criadas tecnologias suficientemente poderosas que têm o potencial de destruir o nicho ecológico que a espécie e sua tecnologia ocupam. Dada a provável abundância de planetas que têm vida e inteligência, esses modos de falha devem ter ocorrido muitas vezes.

Estamos familiarizados com uma dessas possibilidades: a destruição por intermédio da tecnologia nuclear: não apenas um trágico incidente isolado, mas um evento que destrua o nicho inteiro. Uma catástrofe desse tipo não destruiria necessariamente todas as formas de vida em um planeta, mas seria um atraso significativo em termos do processo visualizado aqui. Ainda não saímos da idade da pedra em termos deste espectro aqui na Terra.

Existem outros cenários de destruição. Conforme discuti no Capítulo 7, um cenário particularmente provável é o de um mau funcionamento (ou sabotagem) do mecanismo que inibe a reprodução indefinida de nanobôs auto-replicantes. Os nanobôs são inevitáveis, pois a auto-replicação representa uma forma eficiente, e em última análise necessária, de fabricar esse tipo de tecnologia. Seja por má intenção ou simplesmente um erro infeliz de software, um erro no desligamento da auto-replicação na hora certa seria bastante infeliz. Um câncer desse tipo infectaria igualmente matéria orgânica e muita matéria inorgânica, já que a forma de vida do nanobô não é de origem orgânica. Inevitavelmente, devem existir planetas lá fora cobertos com um vasto oceano de nanobôs auto-

replicantes. Suponho que a evolução parta desse ponto.

Uma possibilidade dessas não se limita a robôs minúsculos. Qualquer robô auto-replicante serve. Mas, mesmo que os robôs sejam maiores que nanobôs, é provável que o método de auto-replicação deles faça uso da nanoEngenharia. Mas qualquer grupo auto-replicante de robôs que não consiga seguir as três leis de Isaac Asimov (que proíbem robôs de fazer mal a seus criadores) por intermédio ou de um design “do mal” ou de erros de programação apresenta um grave perigo.

Outra nova forma de vida perigosa é o vírus de software. Nós já conhecemos em forma primitiva este novo ocupante do nicho ecológico disponibilizado pela computação. Aqueles que emergirão no próximo século aqui na Terra terão o meio para controlar a evolução de modo a projetar táticas evasivas da mesma maneira que os vírus biológicos (por exemplo, o HIV) fazem hoje. Quando a espécie criadora de tecnologia começar a utilizar cada vez mais sua tecnologia computacional para substituir seus circuitos originais de sua forma de vida, esses vírus passarão a representar outro grande perigo.

Antes desse tempo, os vírus que operam em nível da genética da forma de vida original também representam um risco. Quando a espécie criadora de tecnologia tiver à disposição os meios para manipular o código genético que deu origem a ela (não importa como esse código venha a ser implementado), novos vírus podem emergir por intermédio de acidentes e/ou intenção hostil com consequências potencialmente mortais. Isto poderia tirar uma espécie de seu caminho antes que ela tenha a oportunidade de transportar o design de sua inteligência para sua tecnologia.

Qual a probabilidade desses perigos? Meu próprio ponto de vista é que um planeta que está se aproximando do ápice de seu século de crescimento computacional como a Terra está hoje tem uma chance mais do que boa de conseguir. Mas, por outro lado, sempre fui acusado de ser otimista demais.

Delegações de lugares distantes

Nossa visão contemporânea popular de visitas de outros planetas no Universo contempla criaturas como nós mesmos com espaçonaves e outras tecnologias avançadas dando suporte a elas. Em algumas concepções, os aliens têm uma aparência incrivelmente humana. Em outras, eles parecem um pouco estranhos. Repare que nós temos criaturas inteligentes de aspecto exótico aqui em nosso próprio planeta (por exemplo, a lula gigante e o polvo). Mas, humanoides ou não, a concepção popular de aliens que visitam nosso planeta os retrata como tendo aproximadamente nosso tamanho e essencialmente sem modificações, a

partir de uma aparência original advinda de um processo evolucionário (aparência essa originalmente gosmenta). Esta concepção parece improvável.

Bem mais provável é que visitas de entidades inteligentes de outro planeta representem uma fusão de uma espécie inteligente evoluída com sua ainda mais evoluída tecnologia computacional inteligente. Uma civilização suficientemente evoluída para fazer a jornada até a Terra provavelmente já passou há muito pelo limiar de “fusão” discutido anteriormente.

Um corolário dessa observação é que essas delegações de visitantes de planetas distantes provavelmente serão de um tamanho bem pequeno. Uma superinteligência de base computacional do final do século XXI, aqui na Terra, será de tamanho microscópico. Logo, uma delegação inteligente de outro planeta provavelmente não usará uma espaçonave do tamanho que é comum na ficção científica de hoje, pois não haveria motivo para transportar organismos e equipamento tão grandes. Pense que o objetivo de uma visita dessas não seria a mineração de recursos materiais, já que uma civilização avançada quase certamente passou do ponto em que possui alguma necessidade material significativa que ainda não tenha sido atendida. Ela será capaz de manipular seu próprio ambiente por intermédio de nanoEngenharia (assim como picoEngenharia e femtoEngenharia) para atender a quaisquer exigências físicas concebíveis. O único objetivo provável de uma visita dessas é observação e coleta de informações. O único recurso de interesse para uma civilização tão avançada será o conhecimento (isto é quase verdade para a civilização humano-máquina, aqui na Terra hoje). Esses objetivos podem ser realizados com dispositivos de observação, computação e comunicação relativamente pequenos. Tais espaçonaves, portanto, provavelmente serão menores que um grão de areia, possivelmente de tamanho microscópico. Talvez seja uma das razões pelas quais não as notamos.

Até que ponto a inteligência é relevante no Universo?

Se você é uma entidade consciente tentando realizar uma tarefa da qual normalmente se costuma exigir um pouco de inteligência digamos, escrever um livro sobre inteligência de máquina em seu planeta então isso pode ter alguma relevância. Mas até que ponto a inteligência é relevante para o resto do Universo?

A sabedoria popular diz: *Não muito*. Estrelas nascem e morrem; galáxias

atravessam seus ciclos de criação e destruição. O Universo propriamente dito nasceu numa grande explosão e morrerá com uma compressão ou um murmúrio (a grande explosão é uma tradução possível para o evento conhecido pelos astrônomos como Big Bang; da mesma forma, considera-se que o fim do Universo será com um movimento em sentido contrário, conhecido popularmente como Big Crunch, onde o Universo se contrairá e sofrerá uma espécie de implosão. A referência a murmúrio [*whimper*, no original] está relacionada ao poema *The Hollow Men*, de T. S. Eliot, em que ele diz que o mundo terminará não com uma explosão, mas com um murmúrio [no original de Eliot: *This is the way the world ends/Not with a bang but a whimper*] - N. do T.); ainda não temos certeza de como será. Mas inteligência não tem muito a ver com isso. A inteligência é apenas uma camada de espuma, uma ebulição de pequenas criaturas que se movem de um lado para outro provocadas por forças universais inexoráveis. O mecanismo descerebrado do Universo está se encaminhando para um futuro distante, e não há nada que a inteligência possa fazer a respeito.

Esta é a sabedoria comum. Mas eu não concordo com ela. Minha conjectura é que a inteligência acabará provando ser mais poderosa que essas grandes forças impessoais.

Pense em nosso pequeno planeta. Um asteroide aparentemente se chocou com a Terra há 65 milhões de anos. Nada pessoal, claro. Foi apenas uma daquelas poderosas ocorrências naturais que regularmente sobrepujam meras formas de vida. Mas o *próximo* visitante interplanetário desse tipo não receberá as mesmas boas-vindas. Nossos descendentes e sua tecnologia (na verdade, não há nenhuma distinção a ser feita aqui, como apontei) irão notar a chegada iminente de um intruso e detoná-lo no céu da noite. Um a zero para a inteligência. (Por 24 horas, em 1998, cientistas pensaram que um desses incômodos asteroides poderia chegar aqui no ano 2028, até refazerem seus cálculos).

A inteligência não provoca exatamente a repulsão das leis da física, mas ela é suficientemente esperta e cheia de recursos para manipular as forças em seu meio para que se curvem à sua vontade. Entretanto, para que isso aconteça, a inteligência precisa atingir um certo nível de desenvolvimento.

Pense que a *densidade de inteligência* aqui na Terra é um tanto baixa. Uma medida quantitativa que podemos tomar é medida em *cálculos por segundo por micrometro cúbico (cpspmc)*. Isto é, naturalmente, apenas uma medida de capacidade de hardware, não a inteligência da organização desses recursos (isto é, do software), então vamos chamar isso de *densidade de computação*. Vamos lidar com o desenvolvimento do software daqui a pouco. Neste exato momento na Terra, os cérebros humanos são os objetos com a mais alta densidade de computação (isto irá mudar dentro de duas décadas). A densidade de computação do cérebro humano é de cerca de 2 cpspmc. Não é muito alto: circuitos de nanotubos, que já foram demonstrados, têm o potencial para ser um trilhão de

vezes maiores.

Pense também em como quase nada da matéria da Terra é dedicado a alguma forma de computação. Cérebros humanos compreendem apenas 10 bilhões de quilogramas de matéria, que é cerca de uma parte por cem trilhões da matéria na Terra. Então, a densidade média de computação da Terra é de menos de um trilionésimo de um cpspmc. Nós já sabemos como criar matéria (isto é, nanotubos) com uma densidade computacional pelo menos um trilhão de trilhão de vezes maior.

Além do mais, a Terra é apenas uma minúscula fração da matéria que existe no sistema solar. A densidade computacional do resto do sistema solar parece ser de cerca de zero. Então, aqui, em um sistema solar que se arroga a ter pelo menos uma espécie inteligente, a densidade computacional é, não obstante, extremamente baixa.

No outro extremo, a capacidade computacional dos nanotubos não representa um limite superior para a densidade computacional de matéria. E possível ir muito acima disso. Outra conjectura minha é que não existe limite efetivo para essa densidade, mas isto é assunto para outro livro.

A questão subjacente a todos esses números grandes (e pequenos) é que extremamente pouco da matéria sobre a Terra é dedicado a uma computação útil. Isto é ainda mais verdadeiro quando levamos em conta toda a matéria burra no meio da Terra. Agora, considere outra implicação da Lei dos Retornos Acelerados. Outro de seus corolários é que a densidade computacional global cresce de modo exponencial. E, à medida que a relação custo-desempenho da computação aumenta exponencialmente, mais recursos são dedicados a ela. Já podemos ver isso aqui na Terra. Não só os computadores hoje são enormemente mais poderosos do que os de décadas atrás, como também o número de computadores aumentou de algumas dezenas na década de 1950 para centenas de milhões hoje. A densidade computacional aqui na Terra aumentará por trilhões de trilhões durante o século XXI.

A densidade computacional é uma medida do hardware da inteligência. Mas o software também cresce em sofisticação. Embora fique atrás da capacidade do hardware disponível para ele, o software também cresce de modo exponencial em sua capacidade ao longo do tempo. Embora mais difícil de quantificar¹, a densidade da inteligência está intimamente relacionada à densidade de computação. A implicação da Lei dos Retornos Acelerados é que a inteligência na Terra e em nosso sistema solar irá se expandir enormemente ao longo do tempo.

O mesmo pode ser dito de toda a galáxia e do Universo. E provável que nosso planeta não seja o único lugar onde a inteligência foi semeada e está

crescendo. Em última análise, a inteligência será uma força a ser considerada, até mesmo para aquelas grandes forças celestiais (então, cuidado!). As leis da física não são repelidas pela inteligência, mas se evaporam eficientemente em sua presença.

Então, será que o Universo terminará em um Big Crunch ou em uma expansão infinita de estrelas mortas, ou de alguma outra maneira? Em meu ponto de vista, a questão principal não é a massa do Universo, ou a possível existência da antigravidade, ou da pretensa constante cosmológica de Einstein. Ao contrário, o destino do Universo é uma decisão que ainda está por ser tomada, uma decisão que iremos considerar de modo inteligente quando chegar a hora.

LINHA DO TEMPO

10-15 bilhões de anos atrás
O Universo nasce.

10-« segundos depois
A temperatura esfria para 100 milhões de trilhões de trilhões de graus e a gravidade evolui.

10^{-34} segundos depois
A temperatura esfria para um bilhão de bilhão de bilhão de graus e a matéria surge na forma de quarks e elétrons. A antimatéria também aparece.

10^{-10} segundos depois
A força eletrofraca se divide nas forças eletromagnética e fraca.

10^{-5} segundos depois
Com a temperatura a 1 trilhão de graus, prótons, nêutrons e os antiquarks formam antiprótons. Os prótons e antiprótons colidem, deixando na maior parte prótons e provocando o surgimento de fótons (luz).

1 segundo depois
Elétrons e antielétrons (pósitrons) colidem, deixando na maior parte elétrons.

300 mil anos depois do Big Bang
A temperatura média é agora de cerca de 3 mil graus, e os primeiros átomos se formam.

1 bilhão de anos depois do Big Bang
Formam-se as galáxias.

3 bilhões de anos depois do Big Bang
A matéria dentro das galáxias forma estrelas e sistemas solares distintos.

5 a 10 bilhões de anos depois de Big Bang, ou cerca de 5 bilhões de anos atrás
Nasce a Terra.

3,4 bilhões de anos atrás

A primeira vida biológica aparece na Terra: procariotas anaeróbicos (criaturas unicelulares).

1,7 bilhão de anos atrás
DNA simples evolui.

700 milhões de anos atrás
Aparecem plantas e animais multicelulares.

570 milhões de anos atrás
Ocorre a explosão do período cambriano: a emergência de diversos tipos de corpos, incluindo o aparecimento de animais com partes do corpo duras (conchas e esqueletos).

400 milhões de anos atrás
Plantas baseadas em terra evoluem.

200 milhões de anos atrás
Dinossauros e mamíferos começam a compartilhar o ambiente.

80 milhões de anos atrás
Os mamíferos se desenvolvem mais completamente.

65 milhões de anos atrás
Os dinossauros são extintos, o que levou à ascensão dos mamíferos.

50 milhões de anos atrás
A subordem antropoide dos primatas se ramifica.

30 milhões de anos atrás
Primatas avançados como macacos e antropoides em geral aparecem.

15 milhões de anos atrás
Aparecem os primeiros humanoides.

5 milhões de anos atrás
Criaturas humanoides começam a caminhar sobre duas pernas. O *Homo habilis* está utilizando ferramentas, fomentando uma nova forma de evolução: *tecnologia*.

2 milhões de anos atrás

0 *Homo erectus* aprendeu a domesticar o fogo e está usando linguagem e armas.

500 mil anos atrás

Emerge o *Homo sapiens*, distinguindo-se pela habilidade de criar tecnologia (que envolve inovação na criação de ferramentas, um registro da fabricação de ferramentas e uma progressão na sofisticação das ferramentas).

100 mil anos atrás

Emerge o *Homo sapiens neanderthalensis*.

90 mil anos atrás

Emerge o *Homo sapiens sapiens* (nossos ancestrais imediatos).

40 mil anos atrás

A subespécie *Homo sapiens sapiens* é a única subespécie humanoide sobrevivente na Terra. A tecnologia se desenvolve como a evolução por outros meios.

10 mil anos atrás

A era moderna da tecnologia começa com a revolução agrícola.

6 mil anos atrás

Surgem as primeiras cidades na Mesopotâmia.

5.500 anos atrás

Rodas, barcos, balsas e a linguagem escrita já existem.

Mais de 5 mil anos atrás

O ábaco é criado no Oriente. Operado por seu usuário humano, o ábaco executa uma computação aritmética com base em métodos semelhantes aos de um computador moderno.

3 mil a 700 a.c.

Relógios de água aparecem durante este período de tempo em diversas culturas: na China, por volta de 3 mil a.c.; no Egito, por volta de 1500 a.C.; e na Assíria,

por volta de 700 a.c.

2500 a.c.

Cidadãos egípcios recorrem a oráculos para conselhos, que, em muitos casos, são estátuas com sacerdotes ocultos em seus interiores.

469 322 a.C.

A base da filosofia racionalista do Ocidente é formada por Sócrates, Platão e Aristóteles.

427 a.C.

Platão expressa ideia, no *Fedro* e em obras posteriores, que tratam da comparação do pensamento humano e da mecânica da máquina.

Por volta de 420 a.c.

Árquitas de Tarento, amigo de Platão, constrói um pombo de madeira, cujos movimentos são controlados por um jato de vapor ou ar comprimido.

387 a.c.

A Academia, um grupo fundado por Platão para a busca da ciência e da filosofia, oferece um ambiente fértil para o desenvolvimento da teoria matemática.

Por volta de 200 a.c

Artesãos chineses desenvolvem autômatos elaborados, incluindo uma orquestra inteiramente mecânica.

Por volta de 200 a.c.

Um relógio de água mais preciso é criado por um engenheiro egípcio.

725

O primeiro relógio mecânico de verdade é construído por um engenheiro chinês

e um monge budista. É um dispositivo movido a água com um escapamento que faz com que o relógio execute o movimento de tique-taque.

1494

Leonardo da Vinci concebe e desenha um relógio com um pêndulo, embora um relógio de pêndulo preciso só venha a ser inventado no final do século XVII.

1530

A roda de fiar é usada na Europa.

1540, 1772

A produção de uma tecnologia de autômatos mais elaborada surge a partir da tecnologia de fabricação de relógios, ao longo do Renascimento Europeu. Exemplos famosos incluem a moça tocadora de bandolim, de Gianello Toriano (1540) e a criança, de P. Jaquet-Dortz (1772).

1543

Nicolau Copérnico afirma, em seu *De revolutionibus*, que a Terra e os outros planetas giram ao redor do sol. Esta teoria mudou efetivamente a relação da humanidade com Deus e com a visão que se tinha de Deus.

Séculos XVII e XVIII

A era do Iluminismo nos leva a um movimento filosófico que restaura a crença na supremacia da razão humana, do conhecimento e da liberdade. Com suas raízes na filosofia grega antiga e na Renascença europeia, o Iluminismo é a primeira reconsideração sistemática da natureza do pensamento e do conhecimento humanos desde os platônicos, e inspira desenvolvimentos semelhantes na ciência e na teologia.

1637

Além de formular a teoria da refração óptica e desenvolver os princípios da geometria analítica moderna, René Descartes leva o ceticismo racional aos seus limites em sua obra mais completa, o *Discurso sobre o método*. Ele conclui: "Penso, logo existo."

1642

Blaise Pascal inventa a primeira máquina de calcular *automática* do mundo. Chamada de Pascaline, ela executa adições e subtrações.

1687

Isaac Newton estabelece suas três leis do movimento e a lei da gravitação universal em seus *Philosophiæ naturalis mathematica*, também conhecidos como os *Principia*.

1694

O Computador de Leibniz é aperfeiçoado por Gottfried Wilhelm Leibniz, que também foi inventor do cálculo. Essa máquina efetua multiplicação executando adições repetitivas, um algoritmo que ainda é utilizado nos computadores hoje em dia.

1719

Um moinho de tecelagem de seda que empregava trezentos operários, em sua maior parte mulheres e crianças, é construído. É considerado por muitos a primeira fábrica no sentido moderno da palavra.

1726

No livro *As viagens de Guliiver*, Jonathan Swift descreve uma máquina que escreve livros automaticamente.

1733

John Kay patenteia seu "Novo Engenho para Abrir e Costurar Lã". Mais tarde conhecida como *flying shuttle*, esta invenção abrirá caminho para uma tecelagem muito mais rápida.

1760

Na Filadélfia, Benjamin Franklin ergue para-raios depois de ter descoberto, por intermédio de sua famosa Experiência com a pipa em 1752, que o raio é uma forma de eletricidade.

Por volta de 1760

No início da Revolução Industrial, a expectativa de vida é de cerca de 37 anos, tanto na América do Norte quanto na Europa Setentrional.

1764

A *spinning jenny*, que gira oito fios ao mesmo tempo, é inventada por James Hargreaves.

1769

Richard Arkwright patenteia uma máquina de fiar hidráulica, que é grande e cara demais para utilizar em habitações familiares. Conhecido como o fundador do moderno sistema de fábricas, ele constrói uma fábrica para sua máquina em 1781, pavimentando dessa forma o caminho para muitas das mudanças econômicas e sociais que irão caracterizar a Revolução Industrial.

1781

Montando o palco para a emergência do racionalismo do século XX, Immanuel Kant publica sua *Crítica da razão pura*, que expressa a filosofia do Iluminismo enquanto tira a ênfase do papel da metafísica.

1800

Todos os aspectos da fabricação de roupas estão automatizados agora.

1805

Joseph-Marie Jacquard desenvolve um método para tecelagem automática, que é um precursor da tecnologia dos primeiros computadores. Os teares são direcionados por instruções em uma série de cartões perfurados.

1811

O movimento Ludita é formado em Nottingham por artesãos e operários preocupados com a perda de empregos devido à automação.

1821

A Sociedade Astronômica Britânica confere seu primeiro prêmio, uma medalha de ouro, a Charles Babbage por seu artigo "Observações sobre a aplicação de maquinário à computação de tabelas matemáticas".

1822

Charles Babbage desenvolve a Máquina Diferencial, embora ele acabe abandonando esse projeto, tecnicamente complexo e caro, para se concentrar na criação de um computador para finalidades gerais.

1825

A "Locomotion N° 1", de George Stephenson, a primeira máquina a vapor a transportar passageiros e carga em base regular, faz sua primeira viagem.

1829

Um protótipo primitivo de máquina de escrever é inventado por William Austin Burt.

1832

Os princípios da Máquina Analítica são desenvolvidos por Charles Babbage. Ela é o primeiro computador do mundo (embora jamais tivesse funcionado), e pode ser programada para resolver uma ampla série de problemas computacionais e lógicos.

1837

Uma versão mais prática do telégrafo é patenteada por Samuel Finley Breese Morse. Ele envia cartas em códigos que consistem de pontos e traços, um sistema ainda em uso comum mais de um século depois.

1839

Um novo processo para tirar fotografias, conhecido como "daguerreótipos", é apresentado por Louis-Jacques Daguerre, na França.

1839

A primeira célula combustível é desenvolvida por William Robert Grove, do País de Gales.

1843

Ada Lovelace, considerada a primeira programadora de computadores do mundo e única filha legítima de Lord Byron, publica suas próprias anotações e uma tradução do artigo de L. P. Menabrea sobre a Máquina Analítica de Babbage. Ela especula sobre a capacidade dos computadores em emular a inteligência humana.

1846

A máquina de costura de pesponto duplo é patenteada por Elias Howe, morador da cidade de Spencer, em Massachusetts, EUA.

1846

Alexander Bain aprimora enormemente a velocidade da transmissão do telégrafo, utilizando papel perfurado para enviar mensagens.

1847

George Boole publica suas primeiras ideias sobre lógica simbólica, que mais

tarde evoluirão para sua teoria da lógica binária e aritmética. Suas teorias ainda formam a base da computação moderna.

1854

Paris e Londres são conectadas por telégrafo.

1859

Charles Darwin explica seu princípio da seleção natural e sua influência sobre a evolução de diversas espécies, em sua obra *A origem das espécies*.

1861

Agora existem linhas telegráficas conectando São Francisco e Nova York, nos EUA.

1867

O primeiro gerador comercialmente prático que produz corrente alternada é inventado por Zénobe Théophile Gramme.

1869

Thomas Alva Edison vende o telégrafo impressor de cotações que inventou para Wall Street, por 40 mil dólares.

1870

Em uma base per capita e em dólares de 1958, o PIB é de 530 dólares. Doze milhões de norte-americanos, ou 31% da população, possuem empregos, e apenas 2% dos alunos têm diplomas de segundo grau.

1871

Ao morrer, Charles Babbage deixa quase 40 metros quadrados de esboços de sua Máquina Analítica.

1876

Alexander Graham Bell recebe o número de patente 174.465 dos EUA pelo telefone. É a patente mais lucrativa garantida até então.

1877

William Thompson, mais tarde conhecido como Lord Kelvin, demonstra que é possível que as máquinas sejam programadas para resolver uma grande variedade de problemas matemáticos.

1879

A primeira Lâmpada de luz incandescente que queima por uma duração substancial de tempo é inventada por Thomas Alva Edison.

1882

Thomas Alva Edison projeta a iluminação elétrica para a estação Pearl Street, na Broadway, em Nova York.

1884

A caneta-tinteiro é patenteada por Lewis E. Waterman.

1885

Boston e Nova York são conectadas por telefone.

1888

William S. Burroughs patenteia a primeira máquina de somar no mundo, que depende de teclas. Essa calculadora será modificada quatro anos mais tarde para incluir subtração e impressão, e passará a ter ampla utilização.

1888

Heinrich Hertz transmite o que hoje é conhecido como ondas de rádio.

1890

A partir de ideia do tear de Jacquard e da Máquina Analítica de Babbage, Herman Hollerith constrói e patenteia uma máquina de informação eletromagnética que utiliza cartões perfurados. Ela ganha a concorrência para o Censo de 1890 dos EUA, introduzindo assim o uso da eletricidade em um projeto de processamento de dados em grande escala.

1896

Herman Hollerith funda a Tabulating Machine Company. Essa empresa acabará por se tornar a IBM.

1897

Devido ao acesso a melhores bombas a vácuo do que antes, Joseph John Thompson descobre o elétron, a primeira partícula conhecida menor do que um átomo.

1897

Alexander Popov, físico russo, utiliza uma antena para transmitir ondas de rádio. O italiano Guglielmo Marconi recebe a primeira patente garantida para rádio e ajuda a organizar uma empresa para comercializar seu sistema.

1899

O som é gravado magneticamente em fio e em uma fina tira de metal.

1900

Herman Hollerith introduz a alimentação automática de cartões em sua máquina de informações para aprimorar o processamento dos dados do censo de 1900.

1900

Hoje, o telégrafo conecta todo o mundo civilizado. Existem mais de 1,4 milhões de telefones, 8 mil automóveis registrados e 24 milhões de lâmpadas elétricas nos Estados Unidos; este último item cumpre a promessa de Thomas Edison de "lâmpadas elétricas tão baratas que somente os ricos conseguirão comprar velas." Além disso, a Gramophone Company anuncia um catálogo com 5 mil gravações.

1900

Mais de um terço de todos os trabalhadores dos EUA estão envolvidos na produção de alimentos.

1901

A primeira máquina de escrever elétrica, a Blickensderfer Electric, é construída.

1901

O livro *A interpretação dos sonhos* é publicado por Sigmund Freud. Esse e outros trabalhos de Freud ajudam a iluminar o funcionamento da mente.

1902

Millar Hutchinson, de Nova York, inventa o primeiro aparelho de surdez elétrico.

1905

A antena direcional de rádio é desenvolvida por Guglielmo Marconi.

1908

Acontece o primeiro voo de avião de longa distância de Orville Wright.

1910-1913

Principia Mathematica, uma obra seminal sobre as fundações da matemática, é publicada por Bertrand Russell e Alfred North Whitehead. Essa publicação, em três volumes, apresenta uma nova metodologia para todas as matemáticas.

1911

Após adquirir várias outras empresas, a Tabulating Machine Company, de Herman Hollerith, muda seu nome para Computing Tabulating Recording Company (CTR).

1915

Thomas J. Watson, em São Francisco, e Alexander Graham Bell, em Nova York, participam da primeira ligação telefônica transcontinental norte-americana.

1921

O termo *robô* é cunhado, em 1917, pelo dramaturgo tcheco Karel Capek. Em sua popular peça de ficção científica *RUR (Rossum's Universal Robots)*, ele descreve máquinas inteligentes que, embora originalmente criadas como serviçais para os humanos, acabam dominando o mundo e destruindo toda a humanidade.

1921

Ludwig Wittgenstein publica o *Tractatus Logico-Philosophicus*, que é indiscutivelmente uma das obras filosóficas mais influentes do século XX. Wittgenstein é considerado o primeiro positivista lógico.

1924

Originalmente Tabulating Machine Company, de Hollerith, a Computing Tabulating-Recording Company (CTR) é rebatizada como International Business Machines (IBM) por Thomas J. Watson, o novo presidente da empresa. A IBM irá liderar a indústria moderna de computadores e se tornar uma das maiores corporações industriais do mundo.

1925

As bases da mecânica quântica são concebidas por Niels Bohr e Werner Heisenberg.

1927

O princípio da incerteza, que diz que elétrons não têm localização precisa, mas nuvens de probabilidades de localizações precisas, é apresentado por Werner Heisenberg. Cinco anos depois, ele ganhará um Prêmio Nobel por sua descoberta de mecânica quântica.

1928

O teorema minimax é apresentado por John von Neumann. Este teorema será amplamente utilizado em futuros programas de jogos.

1928

A primeira televisão inteiramente eletrônica é apresentada este ano por Philo T. Farnsworth, e um sistema de televisão a cores é patenteado por Vladimir Zworkin.

1930

Nos Estados Unidos, 60% de todas as residências têm rádios, com o número de rádios de propriedade pessoal chegando, hoje, a mais de 18 milhões.

1931

O teorema da incompletude, que é considerado por muitos o mais importante teorema de toda a matemática, é apresentado por Kurt Gödel.

1931

O microscópio eletrônico é inventado por Ernst August Friedrich Ruska e, de modo independente, por Rheinhold Ruedenberg.

1935

O protótipo da primeira máquina coração-pulmão é inventado.

1937

Grote Reber, de Wheaton, Illinois, EUA, constrói o primeiro radiotelescópio intencional, um prato com 9,4 metros de diâmetro.

1937

Alan Turing apresenta a máquina de Turing, um modelo teórico de computador, em seu artigo "On computable numbers". Suas ideias se basearam no trabalho de Bertrand Russell e Charles Babbage.

1937

Alonzo Church e Alan Turing desenvolvem, independentemente um do outro, a tese Church-Turing. Essa tese afirma que todos os problemas que um ser humano pode resolver podem ser reduzidos a um conjunto de algoritmos, dando apoio à ideia de que a inteligência de máquina e a inteligência humana são essencialmente equivalentes.

1938

A primeira caneta esferográfica é patenteada por Lazlo Biró.

1939

Voos comerciais regulares começam a atravessar o Oceano Atlântico.

1940

ABC, o primeiro computador *eletrônico* (ainda que não programável) é construído por John V. Atanasoff e Clifford Berry.

1940

O primeiro computador operacional do mundo, conhecido como Robinson, criado pelo Ultra, o esforço de guerra de computação britânica que utilizou dez pessoas. Utilizando relês eletromecânicos, Robinson decodifica com sucesso mensagens do Enigma, a máquina de cifrar nazista de primeira geração.

1941

O primeiro computador digital totalmente *programável*, o Z-3, é desenvolvido por Konrad Zuse, da Alemanha. Arnold Fast, um matemático cego que foi contratado para programar o Z-3, é o primeiro programador do mundo de um computador programável *operacional*.

1943

Warren McCulloch e Walter Pitts exploram arquiteturas de redes neurais para inteligência em sua obra *Logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*.

1943

Continuando seu esforço de guerra, a equipe britânica de computação Ultra constrói Colossus, que contribui para a vitória dos Aliados na Segunda Guerra Mundial, sendo capaz de decifrar códigos alemães ainda mais complexos. Ele

utiliza válvulas eletrônicas que são de cem a mil vezes mais rápidas do que os relés utilizados por Robinson.

1944

Howard Aiken completa o Mark I. Utilizando fitas de papel perfurado para programar e válvulas a vácuo para calcular problemas, ele é o primeiro computador programável construído por um americano.

1945

John von Neumann, professor do Instituto para Estudos Avançados, em Princeton, New Jersey, EUA, publica o primeiro artigo moderno, descrevendo o conceito de armazenamento de programas.

1946

O primeiro computador digital (programável) de finalidade geral, inteiramente eletrônico, é desenvolvido para o exército por John Presper Eckert e John W. Mauchley. Batizado como ENIAC, ele é quase mil vezes mais rápido do que o Mark I.

1946

A televisão decola muito mais rapidamente do que o rádio nos anos 1920. Em 1946, a porcentagem de lares americanos que tinha aparelhos de TV é de 0,02%. Isso sofrerá um salto para 72% de 1956, e para mais de 90% em 1983.

1947

O transistor é inventado por William Bradford Shockley, Walter Hauser Brattain e John Bardeen. Esse minúsculo dispositivo funciona como uma válvula a vácuo, mas é capaz de alternar correntes a velocidades substancialmente altas. O transistor revoluciona a microeletrônica, contribuindo para reduzir os custos dos computadores e levando ao desenvolvimento de computadores mainframe e minicomputadores.

1948

Cybernetics, um livro seminal sobre teoria da informação, é publicado por Norbert Wiener. Ele também cunha a palavra *Cibernética* para definir "a ciência do controle e da comunicação no animal e na máquina".

1949

O ESDAC, o primeiro computador de programa armazenado do mundo, é construído por Maurice Wilkes, cujo trabalho foi influenciado por Eckert e Mauchley. O BINAC, desenvolvido pela nova empresa de Eckert e Mauchley, nos EUA, é apresentado pouco tempo depois.

1949

George Orwell retrata um mundo assustador, no qual os computadores são utilizados por grandes burocracias para monitorar e escravizar a população, em seu livro *1984*.

1950

Eckert e Mauchley desenvolvem o UNIVAC, o primeiro computador vendido comercialmente. Ele é usado para compilar os resultados do censo dos EUA, marcando a primeira vez em que se trabalha neste censo utilizando-se um computador programável.

1950

Em seu artigo "Computing machinery and intelligence", Alan Turing apresenta o Teste de Turing, um meio para determinar se uma máquina é inteligente ou não.

1950

A televisão a cores comercial é transmitida pela primeira vez nos Estados Unidos, e a televisão em preto-e-branco transcontinental é disponibilizada no ano seguinte.

1950

Claude Elwood Shannon escreve "Programming a Computer for playing chess", artigo publicado na *Philosophical Magazine*.

1951

Eckert e Mauchley constroem o EDVAC, que é o primeiro computador a utilizar o conceito de programa armazenado. O trabalho acontece na Moore School, na Universidade da Pensilvânia.

1951

Paris sedia um Congresso de Cibernética.

1952

O UNIVAC, utilizado pela rede de televisão Columbia Broadcasting System (CBS), prevê com sucesso a eleição de Dwight D. Eisenhower para a presidência dos Estados Unidos.

1952

Rádios transistorizados de bolso são introduzidos.

1952

Nathaniel Rochester projeta o 701, primeiro computador digital eletrônico de linha de produção em série da IBM. É comercializado para uso científico.

1953

A estrutura química da molécula de DNA é descoberta por James D. Watson e Francis H. C. Crick.

1953

Investigações filosóficas, de Ludwig Wittgenstein, e *Esperando Godot*, peça de Samuel Beckett, são publicados. Ambos os documentos são considerados da maior importância para o existencialismo moderno.

1953

Marvin Minsky e John McCarthy conseguem empregos de verão na Bell Laboratories.

1955

O Laboratório de Semicondutores, de William Shockley é fundado, começando, assim, o Vale do Silício.

1955

A Remington Rand Corporation e a Sperry Gyroscope juntam forças e se tornam a Sperry Rand Corporation. Por algum tempo, ela apresenta uma séria concorrência à IBM.

1955

A IBM introduz sua primeira calculadora transistorizada. Ela utiliza 2.200 transistores em vez das 1.200 válvulas a vácuo que seriam necessárias para um poder de computação equivalente.

1955

Uma empresa dos EUA desenvolve o primeiro projeto de uma máquina robótica para ser utilizada na indústria.

1955

IPL-II, a primeira linguagem de inteligência artificial, é criada por Allen Newell, J. C. Shaw e Herbert Simon.

1955

O novo programa espacial e os militares dos EUA reconhecem a importância de ter computadores com potência suficiente para lançar foguetes para a lua e mísseis pela estratosfera. Ambas as organizações começam a injetar maciçamente fundos para pesquisa.

1956

O Logic Theorist, que utiliza técnicas recursivas de busca para solucionar problemas matemáticos, é desenvolvido por Allen Newell, J. C. Shaw e Herbert Simon.

1956

John Backus e uma equipe da IBM inventam a FORTRAN, a primeira linguagem de programação de computadores científicos.

1956

Stanislaw Ulam desenvolve o MANIACI, o primeiro programa de computador a vencer um ser humano em uma partida de xadrez.

1956

O primeiro relógio comercial a funcionar com baterias elétricas é apresentado pela empresa francesa Lip.

1956

O termo *Inteligência Artificial* é cunhado em uma conferência sobre computadores no Dartmouth College.

1957

Kenneth H. Olsen funda a Digital Equipment Corporation.

1957

O General Problem Solver, que utiliza busca recursiva para resolver problemas, é desenvolvido por Allen Newell, J. C. Shaw e Herbert Simon.

1957

Noam Chomsky escreve *Syntactic structures*, livro em que ele considera seriamente a computação necessária para a compreensão de uma linguagem natural. Esta é a primeira de muitas importantes obras, que lhe valerão o título de Pai da Linguística Moderna.

1958

Um circuito integrado é criado por Jack St. Clair Kilby, da Texas Instruments.

1958

O Laboratório de Inteligência Artificial, no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, é fundado por John McCarthy e Marvin Minsky.

1958

Allen Newell e Herbert Simon fazem a previsão de que um computador digital será o campeão mundial de xadrez em dez anos.

1958

LISP, uma das primeiras linguagens de IA, é desenvolvida por John McCarthy.

1958

A Agência de Projetos de Pesquisa Avançada do Departamento de Defesa DARPA, órgão que irá financiar importantes pesquisas de informática durante anos no futuro, é criada.

1958

Seymour Cray constrói o Control Data Corporation 1604, o primeiro supercomputador inteiramente transistorizado.

1958-1959

Jack Kilby e Robert Noyce desenvolvem, cada um em separado, o chip de computador. O chip de computador leva ao desenvolvimento de computadores muito menores e mais baratos.

1959

Arthur Samuel completa seu estudo sobre aprendizado de máquina.
O projeto, um programa de jogo de damas, tem um desempenho tão bom quanto o de alguns dos melhores jogadores da época.

1959

A preparação de documentos eletrônicos aumenta o consumo de papel nos Estados Unidos. Neste ano, o país irá consumir 7 milhões de toneladas de papel. Em 1986, 22 milhões de toneladas serão utilizadas. As empresas americanas sozinhas utilizarão 850 bilhões de páginas em 1981, 2,5 trilhões de páginas em 1986 e 4 trilhões em 1990.

1959

COBOL, uma linguagem de computador projetada para uso na área de negócios, é desenvolvida por Grace Murray Hopper, que também foi uma das primeiras programadoras do Mark I.

1959

A Xerox introduz a primeira copiadora comercial.

1960

Theodore Harold Maimen desenvolve o primeiro laser. Ele usa um cilindro de rubi.

1960

A recém-criada DARPA, do Departamento de Defesa dos EUA, aumenta de modo substancial seus fundos para pesquisas em computadores.

1960

Existem hoje cerca de 6 mil computadores em operação nos Estados Unidos.

anos 1960

Máquinas de redes neurais são bastante simples e incorporam um pequeno número de neurônios organizados em apenas uma ou duas camadas. Esses modelos revelam ser limitados em suas capacidades.

1961

O primeiro computador de time-sharing é desenvolvido no MIT.

1961

O Presidente John F. Kennedy oferece o apoio para o projeto espacial Apollo e a inspiração para importantes pesquisas em informática quando diz, numa sessão do Congresso dos EUA: "Eu acredito que devemos ir à lua."

1962

Os primeiros robôs industriais do mundo são comercializados por uma empresa dos EUA.

1962

Frank Rosenblatt define o Perceptron em seu *Principles of neurodynamics*. Rosenblatt apresenta pela primeira vez o Perceptron, um simples elemento de processamento para redes neurais, em uma conferência em 1959.

1963

O Laboratório de Inteligência Artificial, na Stanford University, é fundado por John McCarthy.

1963

É publicado o influente livro *Steps toward artificial intelligence*, de Marvin Minsky.

1963

A Digital Equipment Corporation anuncia o PDP-8, o primeiro minicomputador bem-sucedido.

1964

A IBM introduz sua série 360, aumentando ainda mais sua liderança na indústria de informática.

1964

Thomas E. Kurtz e John G. Henry, do Dartmouth College, inventam a linguagem BASIC - Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code.

1964

Daniel Bobrow completa seu trabalho de doutorado sobre o Student, um programa em linguagem natural que pode resolver problemas algébricos por intermédio de texto em nível de segundo grau.

1964

A previsão de Gordon Moore, feita nesse ano, diz que os circuitos integrados irão dobrar em complexidade a cada ano. Isto se tornará conhecido como a Lei de Moore, e se provará verdade (com revisões posteriores) pelas próximas décadas.

1964

Marshall McLuhan, por intermédio de seu livro *Understanding media*, prevê o potencial da mídia eletrônica, especialmente a televisão, em criar uma "aldeia global" na qual "o meio é a mensagem".

1965

O Robotics Institute, na Carnegie Mellon University, que irá se tornar um dos maiores centros de pesquisa de IAs, é fundado por Raj Reddy.

1965

Hubert Dreyfus apresenta um conjunto de argumentos filosóficos contra a possibilidade da inteligência artificial em um memorando corporativo da RAND, intitulado "Alchemy and artificial intelligence".

1965

Herbert Simon prevê que, por volta de 1985, "as máquinas serão capazes de fazer qualquer trabalho que um homem pode fazer".

1966

A Amateur Computer Society, possivelmente o primeiro clube de computadores pessoais do mundo, é fundada por Stephen B. Gray.

The Amateur Computer Society Newsletter é uma das primeiras revistas sobre computadores.

1967

O primeiro marcapasso interno é desenvolvido pela Medtronic. Ele utiliza circuitos integrados.

1968

Gordon Moore e Robert Noyce fundam a Intel (Integrated Electronics) Corporation.

1968

A ideia de um computador que possa ver, falar, ouvir e pensar inflama as imaginações quando HAL é apresentado no filme *2001: uma odisséia no espaço*, de Arthur C. Clarke e Stanley Kubrick.

1969

Marvin Minsky e Seymour Papert apresentam a limitação de redes neurais de uma camada em seu livro *Perceptrons*. O teorema fulcral do livro demonstra que um Perceptron é incapaz de determinar se o desenho de uma linha está totalmente conectado. O livro essencialmente interrompe os financiamentos para pesquisas sobre redes neurais.

1970

O PIB dos EUA, em uma base per capita e em dólares constantes de 1958, é de 3.500 dólares, ou mais de seis vezes o que era um século antes.

1970

O disquete é apresentado para armazenamento de dados em computadores.

por volta de 1970

Pesquisadores do Centro de Pesquisa da Xerox em Palo Alto (PARC) desenvolvem o primeiro computador pessoal, chamado Alto. O Alto do PARC é pioneiro no uso de gráficos de bitmap, janelas, ícones e dispositivos de ponteiro em formato de mouse.

1970

Terry Winograd completa sua tese de referência sobre o SHRDLU, um sistema em linguagem natural que exhibe comportamento de inteligências diversas no mundo pequeno dos blocos de crianças. Entretanto, o SHRDLU é criticado por sua falta de generalidade.

1971

O Intel 4.004, o primeiro microprocessador, é introduzido pela Intel.

1971

É introduzida a primeira calculadora de bolso. Ela pode somar, subtrair, dividir e multiplicar.

1972

Continuando sua crítica das capacidades da IA, Hubert Dreyfus publica *What computers can't do*, onde argumenta que a manipulação de símbolos não pode ser a base da inteligência humana.

1973

Stanley H. Cohen e Herbert W. Boyer demonstram que fios de DNA podem ser cortados, reagrupados e, em seguida, reproduzidos inserindo-os na bactéria *Escheríchia coli*. Esse trabalho cria as bases da Engenharia genética.

1974

A revista *Creative Computing* começa a ser publicada. É a primeira revista para pessoas cujo hobby é computação pessoal.

1974

O 8080 de 8 bits, que é o primeiro microprocessador de finalidade geral, é anunciado pela Intel.

1975

As vendas de microcomputadores nos Estados Unidos chegam a mais de cinco mil, e o primeiro computador pessoal, o Altair 8.800, é apresentado ao mercado. Ele tem 256 bytes de memória.

1975

BYTE, a primeira revista de computadores de ampla distribuição no mercado, é publicada.

1975

Gordon Moore revisa sua observação sobre a taxa de duplicação de transistores em um circuito integrado de 12 meses para 24 meses.

1976

A Kurzweil Computer Products introduz a Kurzweil Reading Machine (KRM), a primeira máquina de leitura impressão-para-fala para cegos. Baseada na primeira tecnologia de reconhecimento de caracteres ópticos (OCR) oní-fonte (para qualquer fonte), a KRM escaneia e lê em voz alta qualquer material impresso (livros, revistas, documentos datilografados).

1976

Stephen G. Wozniak e Steven P. Jobs fundam a Apple Computer Corporation.

1977

O conceito de robôs vivos com emoções humanas convincentes é retratado de modo criativo no filme *Guerra nas Estrelas*.

1977

Pela primeira vez, uma empresa telefônica realiza Experiências em larga escala com fibras ópticas em um sistema telefônico.

1977

O Apple II, o primeiro computador pessoal a ser vendido em forma montada e o primeiro com recurso de gráficos coloridos, é introduzido e comercializado com sucesso.

1978

O Speak & Spell, um auxiliar de leitura computadorizado para crianças, é introduzido pela Texas Instruments. Este é o primeiro produto que duplica eletronicamente o aparelho fonador humano em um chip.

1979

Em um estudo de ponta realizado por nove pesquisadores e publicado no *Journal of the American Medical Association*, o desempenho do programa de computador MYCIN é comparado com o de médicos no diagnóstico de dez casos-teste de meningite. O MYCIN apresenta um desempenho pelo menos tão bom quanto o dos especialistas médicos.

O potencial dos sistemas especialistas em medicina se torna amplamente reconhecido.

1979

Dan Bricklin e Bob Frankston estabelecem o computador pessoal como uma ferramenta de negócios séria quando desenvolvem o VisiCalc, a primeira planilha eletrônica.

1980

A receita de indústria de informática é de alguns milhões de dólares neste ano.

década de 1980

À medida que os modelos de neurônios vão se tornando potencialmente mais

sofisticados, o paradigma da rede neural começa a ensaiar um retorno, e redes com múltiplas camadas são utilizadas normalmente.

1981

A Xerox introduz o Star Computer, lançando assim o conceito de Desktop Publishing. A LaserWriter, da Apple, lançada em 1985, irá aumentar ainda mais a viabilidade dessa maneira barata e eficiente para escritores e artistas criarem seus próprios documentos finalizados.

1981

A IBM apresenta seu Personal Computer (PC).

1981

O protótipo da impressora Bubble Jet é apresentado pela Canon.

1982

Os tocadores de compact discs (CDS) são comercializados pela primeira vez.

1982

Mitch Kapor apresenta o Lotus 1-2-3, um programa de planilha enormemente popular.

1983

Máquinas de fax estão rapidamente se tornando uma necessidade no mundo dos negócios.

1983

A Musical Instrument Digital Interface **MIDI** é apresentada em Los Angeles, no primeiro show de Fabricantes de Música Norte-Americanos.

1983

Seis milhões de computadores pessoais são vendidos nos Estados Unidos.

1984

O Macintosh, da Apple, apresenta a "metáfora da área de trabalho", cuja pioneira foi a Xerox, incluindo gráficos em bitmap, ícones e o mouse.

1984

William Gibson utiliza o termo *ciberespaço* em seu livro *Neuromancer*.

1984

O sintetizador Kurzweil 250 (K250), considerado o primeiro instrumento eletrônico a emular com sucesso os sons de instrumentos acústicos, é introduzido no mercado.

1985

Marvin Minsky publica *A sociedade da mente*, livro no qual apresenta uma teoria da mente em que a inteligência é vista como sendo o resultado de uma organização adequada de uma hierarquia de mentes com mecanismos simples no nível mais baixo da hierarquia.

1985

O Media Laboratory do MIT, é fundado por Jerome Weisner e Nicholas Negroponte. O laboratório é dedicado a pesquisar possíveis aplicações e interações da informática, sociologia e inteligência artificial no contexto da tecnologia da mídia.

1985

Existem 116 milhões de empregos nos Estados Unidos, comparados com 12 milhões em 1870. No mesmo período, o número dos empregados cresceu de 31 para 48%, e o PIB per capita em dólares constantes aumentou em 600%. Essas tendências não mostram sinais de diminuição.

1986

Teclados eletrônicos movimentam 55,2% do mercado de teclados musicais dos EUA, comparados a 9,5% em 1980.

1986

A expectativa de vida é de cerca de 74 anos nos Estados Unidos. Somente 3% da força de trabalho dos EUA está envolvida na produção de alimentos; 76% dos adultos norte-americanos têm diploma de segundo grau, e 7,3 milhões de estudantes dos EUA estão na faculdade.

1987

As ações da Bolsa de Valores de Nova York tiveram seu maior dia de perdas, devido, em parte, ao trading computadorizado.

1987

Os sistemas de fala atuais podem oferecer qualquer um dos seguintes recursos: um grande vocabulário, reconhecimento de fala contínua ou independência do falante.

1987

Sistemas robóticos de visão constituem, hoje, uma indústria de 300 milhões de dólares, e crescerão para 800 milhões em 1990.

1988

A memória de computador custa hoje apenas um centésimo de milionésimo do que custava em 1950.

1988

Marvin Minsky e Seymour Papert publicam uma edição revista e atualizada de *Perceptrons*, na qual discutem desenvolvimentos recentes em maquinário de redes neurais para inteligência.

1988

Nos Estados Unidos, 4,7 milhões de microcomputadores, 120 mil minicomputadores e 11.500 mainframes são vendidos nesse ano.

1988

A Connection Machine de W. Daniel Hillis é capaz de 65.536 computações ao mesmo tempo.

1988

Computadores notebook estão substituindo os laptops de tamanho maior em termos de popularidade.

1989

A Intel apresenta o microprocessador 80386SX, de 16 megahertz (MHZ) e 2,5 MIPS.

1990

A *Nautilus*, a primeira revista em CD-ROM, é publicada.

1990

O desenvolvimento da HyperText Markup Language, pelo pesquisador Tim Berners-Lee, e sua liberação pelo CERN, o laboratório de física de alta energia em Genebra, Suíça, leva à criação da World Wide Web.

1991

Telefones celulares e e-mail estão aumentando em popularidade como ferramentas de comunicação pessoais e de negócios.

1992

O primeiro drive de CD-ROM de dupla velocidade se torna disponível pela NEC.

1992

O primeiro assistente digital pessoal PDA [*personal digital assistant*], um computador de mão (*handheld*), é apresentado no Consumer Electronics Show, em Chicago. O fabricante é a Apple Computer.

1993

O microprocessador Pentium de 32 bits é lançado pela Intel. Esse chip possui 3,1 milhões de transistores.

1994

A World Wide Web é lançada.

1994

A America On-line tem hoje mais de um milhão de assinantes.

1994

Scanners e CD-ROMS estão se tornando cada vez mais populares.

1994

A Digital Equipment Corporation introduz uma versão de 300 MHz do processador Alpha AXP que executa 1 bilhão de instruções por segundo.

1996

A Compaq Computer e a NEC Computer Systems fabricam computadores handheld que rodam Windows CE.

1996

A NEC Electronics fabrica o processador R4101 para PDAs. Ele inclui uma

interface *touch screen*.

1997

O computador Deep Blue derrota Gary Kasparov, campeão mundial de xadrez, em um torneio oficial.

1997

A Dragon Systems introduz o Naturally Speaking, o primeiro produto de software de ditado de fala contínua.

1997

Vídeos de telefones estão sendo utilizados em instalações comerciais.

1997

Sistemas de reconhecimento facial estão começando a ser utilizados em caixas automatizadas.

1998

A Dictation Division, da Lemout 8. Hauspie Speech Products (ex-Kurzweil Applied Intelligence), introduz o Voice Xpress Plus, o primeiro programa de reconhecimento de fala contínua com a capacidade de compreender comandos em linguagem natural.

1998

Transações comerciais rotineiras pelo telefone estão começando a ser realizadas entre um cliente humano e um sistema automático que trava um diálogo verbal com o cliente (por exemplo: reservas para voos pela United Airlines).

1998

Começam a surgir fundos de investimento que utilizam algoritmos evolucionários e redes neurais para tomar decisões de investimentos (por exemplo: Advanced Investment Technologies).

1998

A World Wide Web está por toda parte. Já se tornou rotina para alunos de segundo grau e lojas locais terem websites.

1998

Personalidades automatizadas, que aparecem como rostos animados que falam

com movimentos da boca e expressões faciais realistas, estão trabalhando em laboratórios. Essas personalidades reagem às afirmações faladas e às expressões faciais de seus usuários humanos. Elas estão sendo desenvolvidas para ser utilizadas em futuras interfaces de usuário para produtos e serviços, como assistentes de negócios e de pesquisa personalizados, e para realizar transações.

1998

O Virtual Retina Display (VRD) da Microvision projeta imagens diretamente nas retinas do usuário. Embora seja caro, versões para consumidores estão sendo projetadas para 1999.

1998

A tecnologia bluetooth está sendo desenvolvida para redes de área local LANS [*local area networks*] "corporais" e para comunicação sem fio entre computadores pessoais e periféricos associados. A comunicação sem fio está sendo desenvolvida para conexão de banda larga para a Web.

1999

O livro *A era das máquinas espirituais*, de Ray Kurzweil, foi publicado nos EUA.

2009

Um computador pessoal de mil dólares pode executar cerca de um trilhão de cálculos por segundo.

Computadores pessoais com displays visuais de alta resolução aparecem em uma faixa de tamanhos, desde os pequenos o suficiente para ser embutidos em roupas e joias, até o tamanho de um livro fino.

Os cabos estão desaparecendo. A comunicação entre componentes utiliza tecnologia sem fio de curta distância. A comunicação sem fio de alta velocidade fornece acesso à Web.

A maioria dos textos é criada utilizando reconhecimento de fala contínua. As interfaces de linguagem de usuário (LUIs) também são ubíquas.

A maioria das transações comerciais de rotina (compras, viagens, reservas) acontece entre um humano e uma personalidade virtual. Muitas vezes, a personalidade virtual inclui uma presença visual animada que parece um rosto humano.

Embora a organização tradicional da sala de aula ainda seja comum, materiais inteligentes de ensino começaram a aparecer como um meio comum de aprendizado.

Máquinas de leitura de bolso para cegos e pessoas com visão muito reduzida, "máquinas de audição" (conversão fala-para-texto) para surdos, e dispositivos ortópticos controlados por computador para paraplégicos resultam em uma percepção cada vez maior de que as deficiências básicas não incapacitam necessariamente as pessoas.

Telefones tradutores (tradução de linguagem fala-a-fala) são usados normalmente para muitos pares de idiomas.

Retornos acelerados, vindos do avanço da tecnologia de computadores, têm resultado, em uma expansão econômica cada vez maior. A deflação nos preços, que foi uma realidade na área de informática durante o século XX, está ocorrendo agora fora dessa área. A razão disso é que praticamente todos os setores da economia foram profundamente afetados pela melhoria acelerada do desempenho de preço da computação.

Músicos humanos costumam fazer *jam sessions* com músicos cibernéticos.

Tratamentos biogenéticos para câncer e doenças cardíacas reduziram enormemente a mortalidade provocada por essas doenças.
O movimento neoludita está crescendo.

2019

Um dispositivo de computação de mil dólares (em dólares de 1999), hoje, é aproximadamente igual à capacidade computacional do cérebro humano.

Os computadores, hoje, são em grande parte invisíveis e estão embutidos em toda parte: paredes, mesas, cadeiras, roupas, joias e corpos.

Displays de realidade virtual tridimensionais, embutidos em óculos e lentes de contato, assim como lentes "auditivas", são usados rotineiramente como interfaces primárias para comunicação com outras pessoas, computadores, a Web e a realidade virtual.

A maior parte da interação com a computação é por meio de gestos e comunicação falada em linguagem natural de duas vias.

Nanomáquinas estão começando a ser aplicadas em fábricas e no controle de processos.

A realidade virtual visual e auditiva tridimensional de alta resolução e ambientes táteis realistas e inteiramente abrangentes permitem que as pessoas façam praticamente tudo com todo mundo, independentemente da proximidade física.

Livros de papel ou documentos são raramente utilizados, e a maior parte do aprendizado é realizada por meio de professores baseados em software, simulados e inteligentes.

Os cegos costumam usar normalmente sistemas de navegação de leitura instalados em óculos. Surdos leem o que outras pessoas estão dizendo por intermédio de seus displays de lentes. Paraplégicos e alguns quadriplégicos costumam andar e subir escadas através de uma combinação de dispositivos robóticos exoesqueletos e de estímulo de nervos controlados por computador.

A imensa maioria das transações inclui uma pessoa simulada.

Sistemas de direção automática estão sendo instalados agora na maioria das estradas.

As pessoas estão começando a ter relacionamentos com personalidades automatizadas e a usá-las como companheiros, professores, ajudantes e amantes.

Artistas virtuais, com suas próprias reputações, estão emergindo em todas as artes.

Existem relatórios amplos de computadores que passam pelo Teste de Turing, embora esses testes não atendam aos critérios estabelecidos por observadores entendidos.

2029

Uma unidade de computação de mil dólares (em dólares de 1999) tem a capacidade computacional de aproximadamente mil cérebros humanos.

Implantes permanentes ou removíveis (semelhantes a lentes de contato) para os olhos, bem como implantes cocleares, são hoje utilizados para fornecer input e output entre o usuário humano e a rede de computação mundial.

Caminhos neurais diretos foram aperfeiçoados para conexão de banda larga com o cérebro humano. Uma série de implantes neurais está se tornando disponível para ampliar a percepção visual e auditiva, e interpretação, memória e raciocínio. Agentes automatizados estão, agora, aprendendo sozinhos, e um conhecimento significativo está sendo criado por máquinas com pouca ou nenhuma intervenção humana. Computadores leram toda a literatura e material multimídia gerados por humanos e máquinas.

Existe um uso amplo de comunicação visual, auditiva e tátil, totalmente abrangente, utilizando conexões neurais diretas, permitindo que a realidade virtual aconteça sem ter de estar em um "ambiente fechado de toque total".

A maioria das comunicações não envolve humanos. A maioria das comunicações envolvendo um humano se dá entre um humano e uma máquina.

Quase não existe mais emprego humano na produção, na agricultura ou nos transportes. As necessidades básicas da vida estão disponíveis para a grande maioria da raça humana.

Existe uma discussão cada vez maior sobre os direitos jurídicos dos computadores e o que constitui ser "humano".

Embora os computadores costumem passar rotineiramente em formas aparentemente válidas do Teste de Turing, persiste uma controvérsia sobre se a inteligência de máquina é igual ou não à humana em toda a sua diversidade.

Máquinas afirmam ser conscientes. Essas afirmações são aceitas em sua grande parte.

2049

O uso comum de comida nanoproduzida, que tem a composição nutricional correta e o mesmo gosto e textura dos alimentos produzidos organicamente, significa que a disponibilidade de comida não é mais afetada por recursos limitados, tempo ruim na lavoura ou desperdício. Projeções de exames de nanobôs são utilizadas para criar projeções visual-auditivo-táteis de pessoas e objetos na realidade real.

2072

A picoEngenharia (o desenvolvimento de tecnologia na escala de picômetros ou trilionésimos de metro) se torna prática.¹

Por volta do ano 2099

Há uma forte tendência para uma fusão do pensamento humano com o mundo da inteligência de máquina que a espécie humana criou Inicialmente.

Não existe mais distinção clara entre humanos e computadores.

A maioria das entidades conscientes não possui presença física permanente.

Inteligências baseadas em máquinas derivadas de modelos estendidos da inteligência humana afirmam ser humanas, embora seus cérebros não sejam estruturados em processos celulares baseados em carbono, mas em equivalentes eletrônicos e fotônicos. A maioria dessas inteligências não está vinculada a nenhuma unidade de processamento computacional específica. O número de humanos baseados em software excede enormemente o número dos que ainda utilizam computação nativa baseada em neurônios.

Mesmo entre as inteligências humanas que ainda usam neurônios baseados em carbono, existe um uso ubíquo de tecnologia de implantes neurais, o que fornece um aumento enorme das habilidades perceptuais e cognitivas humanas. Humanos que não utilizam esses implantes são incapazes de participar de modo significativo de diálogos com os que os utilizam.

Como a maior parte das informações é publicada por meio de protocolos de conhecimento assimilado padrão, as informações podem ser compreendidas instantaneamente. O objetivo da educação, e dos seres inteligentes, é descobrir novo conhecimento para aprender.

Propostas de femtoEngenharia (Engenharia na escala de femtômetros, ou um milésimo de trilionésimo de metro) são controvertidas.²

A expectativa de vida não é mais um termo viável em relação a seres inteligentes.

Daqui a muitos milênios... Seres inteligentes consideram o destino do Universo.

COMO CONSTRUIR UMA MÁQUINA INTELIGENTE EM TRÊS PARADIGMAS FÁCEIS

A medida que o Deep Blue se aprofunda, passa a exibir elementos de compreensão estratégica. Em algum lugar, a mera tática está sendo traduzida em estratégia. Isto é o mais próximo que já vi de inteligência de computadores. É uma forma estranha de inteligência, o início da inteligência. Mas você pode senti-la. Pode sentir o cheiro dela. **Frederick - - Friedel, assistente de Garry Kasparov, comentando sobre o computador que derrotou seu chefe**

Todo o objetivo desta frase é tomar claro qual é o objetivo desta frase.

- Douglas Hofstadter

- Por favor, o senhor poderia me dizer que caminho eu deveria tomar para sair daqui? perguntou Alice.

- Vai depender muito de para onde você quer ir — disse o Gato.

- Não me importo muito de para onde... disse Alice.

- Então não faz muita diferença o caminho que você tomar disse o Gato.

- ... desde que eu chegue a algum lugar Alice acrescentou à guisa de explicação.

- Ah, isso você vai conseguir, com certeza — disse o Gato. Basta apenas caminhar o suficiente.

- Lewis Carroll

Um professor acabara de dar uma palestra em alguma augusta universidade sobre a origem e a estrutura do universo, e uma velhinha calçando tênis subiu até o púlpito. “Desculpe, senhor, mas o senhor errou tudo”, disse ela. “A verdade é que o universo está sentado nas costas de uma tartaruga enorme.” O professor decidiu agradá-la. “Ah, é mesmo?”, ele perguntou. “Bom, então me diga: essa tartaruga está em cima de quê?” A senhora tinha a resposta

na ponta da língua: “Em cima de outra tartaruga, ora.” O professor perguntou: “E essa tartaruga, está em cima de quê?” Sem hesitação, ela responde: “De outra tartaruga.” O professor, ainda no jogo, repetiu a pergunta. A mulher começou a demonstrar impaciência. Ela levantou a mão, interrompendo-o no meio da pergunta. “Poupe o fôlego, meu filho. É uma tartaruga em cima da outra até lá embaixo.”

- Rolf Landauer

Conforme mencionei no Capítulo 6, “Construindo Novos Cérebros”, compreender a inteligência é um pouco parecido com descascar uma cebola: penetrar cada camada revela outra cebola. No final do processo, temos muitas cascas de cebola, mas nenhuma cebola. Em outras palavras, a inteligência em particular a inteligência humana opera em muitos níveis. Nós podemos penetrar e compreender cada nível, mas o processo inteiro requer que todos os níveis funcionem juntos da maneira correta.

Apresento aqui algumas futuras perspectivas sobre os três paradigmas que discuti no Capítulo 4, “Uma Nova Forma de Inteligência na Terra”. Cada um desses métodos pode oferecer soluções “inteligentes” para problemas cuidadosamente definidos. Mas, para criar sistemas que consigam responder de modo flexível nos ambientes complexos em que entidades inteligentes frequentemente se encontram, essas abordagens precisam ser combinadas de formas adequadas. Isto é particularmente verdadeiro quando existe interação com fenômenos que incorporam múltiplos níveis de compreensão. Por exemplo, se construirmos uma única rede neural gigante e tentarmos treiná-la para que compreenda todas as complexidades de fala e de linguagem, os resultados serão, na melhor das hipóteses, limitados. Resultados mais encorajadores são obtidos se dividirmos o problema de uma maneira que corresponda aos múltiplos níveis de sentido que encontramos nesta forma exclusivamente humana de comunicação.

O cérebro humano é organizado da mesma maneira: como um intrincado mosaico de regiões especializadas. E, à medida que formos aprendendo os algoritmos paralelos do cérebro, teremos os meios de estendê-los amplamente. Como apenas um exemplo, a região do cérebro responsável pelo pensamento lógico e recursivo o córtex cerebral tem meros 8 milhões de neurônios.¹ Já estamos construindo redes neurais milhares de vezes maiores e que operam milhões de vezes mais rápido. A questão central, ao se projetarem máquinas inteligentes (até elas tomarem essa tarefa de nossas mãos), será projetar arquiteturas inteligentes para combinar os métodos relativamente simples que

compreendem os elementos básicos da inteligência.

A fórmula recursiva

Eis aqui uma fórmula realmente simples para criar soluções inteligentes para problemas difíceis. Ouça com atenção ou não vai entender.

A fórmula recursiva é:

Para minha próxima etapa, execute minha próxima melhor etapa. Se acabar, acabei.

Pode parecer bem simples, e confesso que não há muito conteúdo à primeira vista. Mas seu poder é surpreendente.

Vamos considerar o exemplo clássico de um problema examinado pela fórmula recursiva: o jogo de xadrez. O xadrez é considerado um jogo inteligente, pelo menos o era até recentemente. A maioria dos observadores ainda são da opinião de que é preciso inteligência para jogar uma boa partida. Então, como é que nossa fórmula recursiva se sai nessa área?

O xadrez é um jogo que se joga com um movimento de cada vez. O objetivo é fazer movimentos “bons”. Então, vamos definir um programa que faça bons movimentos. Aplicando a fórmula recursiva ao xadrez, nós refazemos a frase da seguinte maneira:

ESCOLHA MEU MELHOR MOVIMENTO: *Escolha meu melhor movimento.*

Se eu ganhar, acabei.

Esperem um segundo; isto já vai fazer sentido. Preciso fatorar mais um aspecto do xadrez, que é o fato de que não estou nessa sozinho. Eu tenho um oponente. Ela também faz movimentos. Vamos dar a ela o benefício da dúvida e supor que ela também faça bons movimentos. Se isso se provar errado, será uma oportunidade, não um problema. Então, agora nós temos:

ESCOLHA MEU MELHOR MOVIMENTO: *Escolha meu melhor movimento, supondo que meu oponente fará o mesmo.*

Se eu ganhar, acabei.

A esta altura, precisamos levar em conta a natureza da recursão. Uma regra recursiva é uma regra que é definida em termos de si mesma. Uma regra recursiva é circular, mas, para ser útil, não queremos ficar andando em círculos para sempre. Precisamos de uma válvula de escape.

Para ilustrar a recursão, vamos levar em conta um exemplo: a simples função “fatorial”. Para computar o fatorial de n , nós *multiplicamos n pelo fatorial de $(n - 1)$* . Esta é a parte circular: já definimos essa função em termos de si mesma. Também precisamos especificar que *o fatorial de $1 = 1$* . Esta é nossa válvula de escape.

Como exemplo, vamos computar o fatorial de 2. Segundo nossa definição:

Fatorial de 2 = 2 vezes (fatorial de 1).

Nós sabemos diretamente qual é o (fatorial de 1); por isso, aí está nosso escape da recursão infinita. Colocando o (fatorial de 1) = 1, podemos agora escrever:

Fatorial de 2 = 2 vezes 1 = 2.

Voltando ao xadrez, podemos ver que a função **ESCOLHA MEU MELHOR MOVIMENTO** é recursiva, já que definimos o melhor movimento em termos de si mesmo. A enganosamente inócua parte “se eu ganhar, acabei” de nossa estratégia é nossa válvula de escape.

Vamos fatorar o que sabemos a respeito do xadrez. E aqui que levamos cuidadosamente em conta a definição do problema. Percebemos que, para escolher o melhor movimento, precisamos começar listando os movimentos *possíveis*. Isto não é muito complicado. Os movimentos oficiais em qualquer ponto do jogo são definidos pelas regras. Embora mais complicadas do que alguns outros jogos, as regras do xadrez são rígidas e facilmente programáveis. Então, listamos os movimentos e escolhemos o melhor.

Mas qual é o melhor? Se o movimento resultar em vitória, isso já estará ótimo. Então, mais uma vez, nós meramente consultamos as regras e escolhemos um dos movimentos que resulta em um imediato xeque-mate. Talvez não tenhamos tanta sorte e nenhum dos movimentos possíveis ofereça uma vitória imediata. Nós ainda precisamos levar em conta se o movimento me permite ou não vencer ou perder. A esta altura, ainda precisamos levar em conta a sutil adição que fizemos à nossa regra, “*supondo que meu oponente fará o mesmo*”. Afinal, minha vitória ou derrota é afetada pelo que meu oponente poderia fazer. Preciso me colocar no lugar dele e escolher o melhor movimento dele. Como posso fazer isso? E aí que entra o poder da recursão. Temos um programa que

faz exatamente isso, chamado **ESCOLHA MEU MELHOR MOVIMENTO**. Então nós o chamamos para determinar o melhor movimento do meu oponente.

Nosso programa está, agora, estruturado da seguinte maneira. **ESCOLHA MEU MELHOR MOVIMENTO** gera uma lista de todos os movimentos possíveis permitidos pelas regras. Ele examina cada movimento possível de cada vez. Para cada movimento, ele gera um tabuleiro hipotético, representando qual seria a colocação das peças caso aquele movimento fosse selecionado. Novamente, isso apenas requer a aplicação da definição do problema, conforme incorporado às regras do xadrez. **ESCOLHA MEU MELHOR MOVIMENTO** agora se coloca no lugar do meu oponente e chama a si mesmo para determinar o melhor movimento dele. Então, começa a gerar todos os movimentos possíveis dele a partir daquela posição do tabuleiro.

Logo, o programa fica chamando a si mesmo sem parar, continuando a expandir movimentos e contra movimentos possíveis em uma árvore de possibilidades, que vai se expandindo sempre. Este processo costuma ser chamado de busca *minimax*, porque alternamos tentativas de minimizar a capacidade de meu oponente vencer e maximizar a minha própria.

Onde é que isso tudo termina? O programa fica simplesmente chamando a si mesmo até que cada ramo da árvore de movimentos e contra movimentos possíveis resulta em um fim de jogo. Cada fim de jogo fornece a resposta: vitória, empate ou desistência. No ponto mais distante de expansão de movimentos e contra movimentos, o programa encontra movimentos que finalizam o jogo. Se um movimento resultar em uma vitória, nós escolhemos esse movimento. Se não houver movimentos que levem à vitória, então acordamos um empate. Se não houver movimentos de vitória nem de empate, continuo jogando assim mesmo, na esperança de que meu oponente não seja perfeito como eu.

Esses últimos movimentos são os ramos finais chamados folhas em nossa árvore de sequências de movimentos. Agora, em vez de continuar a chamar o **ESCOLHA MEU MELHOR MOVIMENTO**, o programa começa a retornar de suas chamadas para si mesmo. Quando começa a retornar de todas as chamadas **ESCOLHA MEU MELHOR MOVIMENTO** aninhadas, ele já determinou o melhor movimento em cada ponto (incluindo o melhor movimento para meu oponente) e, assim, pode finalmente selecionar o movimento correto para a situação atual *real* do tabuleiro.

Então, será que este simples programa consegue jogar um jogo bom? A resposta é: sim, e um xadrez *perfeito*. Eu não tenho como perder, a menos que meu oponente comece e seja também perfeito. O xadrez perfeito é muito bom

mesmo, muito melhor do que qualquer mero humano. A parte mais complicada da função **ESCOLHA MEU MELHOR MOVIMENTO** o único aspecto que não é extremamente simples é gerar os movimentos permitidos em cada ponto. E isto é apenas uma questão de codificar as regras. Essencialmente, nós já determinamos a resposta, definindo cuidadosamente o problema.

Mas ainda não acabamos. Embora jogar xadrez possa ser considerado impressionante, não é bom o bastante. Nós precisamos levar em conta o nível de resposta que o **ESCOLHA MEU MELHOR MOVIMENTO** terá como jogador. Se supusermos que existem, em média, cerca de oito movimentos possíveis para cada situação no tabuleiro, e que uma partida típica dura cerca de 30 movimentos, precisamos considerar 8^{30} possíveis sequências de movimento para expandir inteiramente a árvore de todas as possibilidades de movimento e contra movimento. Se supusermos que podemos analisar 1 bilhão de posições de tabuleiro por segundo (muito mais rápido que qualquer programa de computador enxadrista hoje), levaria 10^{18} segundos, ou cerca de 40 bilhões de anos, para selecionar cada movimento.

Infelizmente, este não é um jogo oficial. Essa abordagem à recursão é um pouco parecida com a evolução: ambas fazem um ótimo trabalho, mas são incrivelmente lentas. Isto realmente não é surpreendente se você pensar a respeito. A evolução representa outro paradigma muito simples, e na verdade é outra de nossas fórmulas simples.

Entretanto, antes de jogarmos a fórmula recursiva fora, vamos tentar modificá-la para que leve em conta nossa paciência humana e, por enquanto, nossa mortalidade.

Claramente precisamos colocar limites na profundidade a que permitimos que a recursão aconteça. O tamanho ao qual permitimos que a árvore movimento-contra movimento cresça depende de quanta computação temos disponível. Dessa maneira, podemos usar a fórmula recursiva em qualquer computador, de um computador num relógio de pulso até um supercomputador.

Limitar o tamanho dessa árvore significa, claro, que não podemos expandir cada ramo até o fim do jogo. Precisamos interromper a expansão arbitrariamente e ter um método de avaliar as “folhas terminais” de uma árvore inacabada. Quando consideramos expandir inteiramente cada sequência de movimentos até o fim do jogo, a avaliação era simples: ganhar é melhor que empatar, e perder não é bom de jeito nenhum. Avaliar uma posição de tabuleiro no meio do jogo é ligeiramente mais complicado. Na verdade, é mais controverso porque aqui encontramos várias escolas de pensamento.

O gato em *Alice no país das maravilhas*, que diz a Alice que não importa muito para onde ela vai, deve ter sido um especialista em algoritmos recursivos.

Qualquer abordagem minimamente razoável funciona muito bem. Se, por exemplo, nós simplesmente adicionarmos os valores das peças (isto é, dez para a rainha, cinco para a torre e assim por diante), obteremos resultados um tanto respeitáveis. Programar a fórmula recursiva minimax, utilizando o método de avaliação de folhas terminais pelo valor das peças, conforme executado num computador pessoal mediano por volta de 1998, derrotará todos os humanos do planeta, à exceção de alguns milhares.

E isto o que chamo de “escola da mente simples”. Esta escola de pensamento diz: use um método simples de avaliação das folhas terminais e coloque todo o poder computacional que temos disponível na expansão de movimentos e contra movimentos o mais profundamente possível. Outra abordagem é a escola de “mente complicada”, que diz que precisamos utilizar procedimentos sofisticados para avaliar a “qualidade” do tabuleiro em cada posição de folha terminal.

O Deep Blue, da IBM, o computador que cruzou esse limiar histórico, utiliza um método de avaliação de folhas que é muito mais refinado que simplesmente adicionar valores de peças. Entretanto, em uma discussão que tive com Murray Campbell, chefe da equipe do Deep Blue, apenas semanas antes de sua vitória histórica de 1997, Campbell concordou que o método de avaliação do Deep Blue era de mente mais simples que complicada.

"PSEUDOCÓDIGO" SEM MATEMÁTICA PARA O ALGORITMO RECURSIVO

Eis aqui o esquema básico do algoritmo recursivo. Muitas variações são possíveis, e o projetista do sistema precisa fornecer determinados parâmetros críticos e métodos, detalhados a seguir.

O algoritmo recursivo

Define uma função (programa), **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA**. A função retorna um valor de **SUCESSO** (resolvemos o problema) ou **FRACASSO** (não o resolvemos). Se ela retorna com um valor de **SUCESSO**, então a função também retorna a seqüência de etapas selecionadas que resolveu o problema, **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** faz o seguinte:

ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA

- Determine se o programa pode escapar da recursão contínua neste ponto. Este item e os dois itens a seguir tratam desta decisão de escape. Primeiro, determine se o problema já foi resolvido. Como esta chamada para **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** provavelmente veio do programa chamando a si mesmo, podemos agora ter uma solução satisfatória. Os exemplos são:

- (i) no contexto de um jogo (p. ex.: xadrez), o último movimento nos permite vencer (p.ex.: xeque-mate);
- (ii) no contexto da solução de um teorema matemático, a última etapa prova o teorema;
- (iii) no contexto de um programa artístico (p.ex.: poeta ou compositor cibernético), a última etapa corresponde aos objetivos para a próxima palavra ou nota.

Se o problema foi resolvido de forma satisfatória, o programa retorna com um valor de **SUCESSO**. Neste caso, **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** também retorna a sequência de etapas que provocou o sucesso.

- Se o problema não foi resolvido, determine se uma solução ainda pode ser encontrada. Os exemplos são:

- (i) no contexto de um jogo (p. ex.: xadrez), este movimento faz com que percamos (p. ex.: xeque-mate para o outro lado);
- (ii) no contexto da solução de um teorema matemático, esta etapa viola o teorema;
- (iii) no contexto de um programa artístico (p. ex.: poeta ou compositor cibernético), esta última viola os objetivos para a próxima palavra ou nota.

Se a solução a esta altura foi considerada impossível, o programa retorna com um valor de **FRACASSO**.

- Se o problema não foi resolvido nem considerado impossível a este ponto da expansão recursiva, determine se a expansão deveria ser abandonada ou não. Este é um aspecto central do projeto e leva em consideração a limitação de tempo de computador que temos para gastar. Os exemplos são:

- (i) no contexto de um jogo (p. ex.: xadrez), este movimento coloca nosso lado suficiente "adiante" ou "atrás". Tomar esta determinação pode não ser algo fácil e **é** a decisão básica do projeto. Entretanto, abordagens simples (p. ex.: adicionar os valores das peças) ainda podem oferecer bons resultados. Se o programa determinar que nosso lado está suficiente adiante, então **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** retorna de maneira semelhante a uma determinação de que nosso lado venceu (isto **é**, com um valor de **SUCESSO**). Se o programa determinar que nosso lado está suficientemente "atrás", então **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** retorna de maneira semelhante a uma determinação de que nosso lado perdeu (isto **é**, com um valor de **FRACASSO**);
- (ii) no contexto da solução de um teorema matemático, esta etapa envolve determinar a improbabilidade de a sequência de etapas na prova apresentar uma prova. Se isso acontecer, então este caminho deveria ser abandonado, e **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** retorna de maneira semelhante a uma determinação de que esta etapa viola o teorema (isto é, com um valor de **FRACASSO**). Não existe equivalente "suave" de sucesso. Não podemos retornar com um valor de **SUCESSO** até termos realmente resolvido o problema. Esta é a natureza da matemática;
- (iii) no contexto de um programa artístico (p. ex.: poeta ou compositor cibernético), esta etapa envolve determinar a improbabilidade de a sequência de etapas (p. ex.: palavras em um poema, notas em uma canção) satisfazer os objetivos da próxima etapa. Se isso acontecer, então este caminho deveria ser abandonado, e **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** retorna de maneira semelhante a uma determinação de que esta etapa os objetivos da próxima etapa (isto é,

com um valor de **FRACASSO**).

• Se **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** não retornou (porque o programa não determinou sucesso nem fracasso e fez uma determinação de que este caminho deveria ser abandonado neste ponto), então não escapamos da expansão recursiva contínua. Neste caso, agora geramos uma lista de todas as etapas possíveis neste ponto. É aqui que o preciso enunciado do problema entra:

- (i) no contexto de um jogo (p. ex.: xadrez), isto envolve gerar todos os movimentos possíveis para "nosso" lado e para o estado atual do tabuleiro. Isto envolve uma codificação rígida das regras do jogo;
- (ii) no contexto de encontrar a prova para um teorema matemático, isto envolve listar os possíveis axiomas ou teoremas anteriormente comprovados que possam ser aplicadas neste ponto na solução;
- (iii) no contexto de um programa cibernético de arte, isto envolve listar possíveis palavras/notas/segmentos de Linha que poderiam ser usados neste ponto.

Para cada possível próxima etapa:

- (i) crie a situação hipotética que existiria se esta etapa fosse implementada. Em um jogo, isto significa o estado hipotético do tabuleiro. Em uma prova matemática, isto significa adicionar esta etapa (p. ex.: axioma) à prova. Em um programa artístico, isto significa adicionar esta palavra/nota/segmento de linha;
- (ii) agora chame **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** para examinar esta situação hipotética. É aqui, naturalmente, que a recursão entra, porque o programa está agora chamando a si mesmo;
- (iii) se a chamada acima para **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** retornar com um valor de **SUCESSO**, então retorne da chamada para **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** (na qual estamos agora) também com um valor de **SUCESSO**. Caso contrário, considere a próxima etapa possível.

Se todas as próximas etapas possíveis tiverem sido consideradas sem se encontrar uma etapa que resultasse em um retorno da chamada para **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** com um valor de **SUCESSO**, então retorne desta chamada para **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** (na qual estamos agora) com um valor de **FRACASSO**.

FIM DE ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA

Se a chamada original para **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** retornar com um valor de **SUCESSO**, ela também retornará a sequência correta de etapas:

- (i) no contexto de um jogo, a primeira etapa nesta sequência é o próximo movimento que você deve fazer;
- (ii) no contexto de uma prova matemática, a sequência inteira de etapas é a prova;
- (iii) no contexto de um programa cibernético de arte, a sequência de etapas é sua obra de arte.

Se a chamada original para **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** é **FRACASSO**, então você precisa voltar ao tabuleiro.

Decisões fundamentais de projeto

No simples esquema acima, o projetista do algoritmo recursivo precisa determinar o seguinte de saída:

- a chave para um algoritmo recursivo é a determinação de **ESCOLHER PRÓXIMA MELHOR ETAPA** quando abandonar a expansão recursiva. Isto é fácil quando o programa conseguiu um sucesso claro (p. ex.: xeque-mate no xadrez ou a solução necessária em um problema de matemática ou combinatorial) ou fracasso claro. É mais difícil quando uma vitória ou uma derrota claras ainda não foram atingidas. Abandonar uma linha de investigação antes de um resultado bem definido é necessário porque, caso contrário, o programa poderia rodar por bilhões de anos (ou, pelo menos, até que a garantia de seu computador acabasse);
- a outra exigência básica para o algoritmo recursivo é uma codificação rígida do problema. Em um jogo como xadrez, isso é fácil. Mas, em outras situações, uma definição clara do problema nem sempre é tão fácil de conseguir.

Feliz busca recursiva!

Jogadores humanos são de mente muito complicada. Esta parece ser a condição humana. Como resultado, até mesmo os melhores jogadores de xadrez são incapazes de levar em conta mais do que algumas centenas de movimentos, comparado aos alguns bilhões do Deep Blue. Mas cada movimento humano é aprofundado consideravelmente. Entretanto, em 1997, Garry Kasparov, o melhor exemplo da escola da mente complicada do mundo, foi derrotado por um computador de mente simples.

Pessoalmente, eu pertenço a uma terceira escola de pensamento. Não chega lá a ser uma escola. Até onde sei, ninguém tentou esta ideia ainda. Ela envolve combinar os paradigmas da recursão e da rede neural, e eu a descrevo na discussão sobre redes neurais a seguir.

Redes neurais

No começo e em meados dos anos 1960, pesquisadores de IA ficaram apaixonados pelo Perceptron, uma máquina construída a partir de modelos matemáticos de neurônios humanos. Os primeiros Perceptrons tiveram um sucesso modesto em tarefas de reconhecimento de padrões, como identificar letras impressas e sons de fala. Parecia que tudo o que era necessário para tornar o Perceptron mais inteligente era adicionar mais neurônios e mais fios.

Então, em 1969, apareceu o livro *Perceptrons*, de Marvin Minsky e Seymour Papert, que provava um conjunto de teoremas, aparentemente demonstrando que um Perceptron jamais poderia resolver o problema simples de determinar se o desenho de uma linha está ou não “conectado” (em um desenho conectado, todas as partes estão ligadas umas às outras por linhas). O livro provocou um efeito dramático, e praticamente todo o trabalho que estava sendo desenvolvido sobre Perceptrons parou.²

No final dos anos 1970 e nos anos 1980, o paradigma de construir simulações por computador de neurônios humanos, então chamados de redes neurais, começou a recuperar sua popularidade. Um observador escreveu, em 1988:

Era uma vez duas ciências-filhas que nasceram da nova ciência da cibernética.

Uma das irmãs era natural, com características herdadas do estudo do cérebro, da maneira como a natureza faz coisas. A outra era artificial, relacionada desde o início ao uso de computadores. Cada qual das ciências-filhas tentou construir modelos de inteligência, mas a partir de materiais muito diferentes. A irmã natural construiu modelos (chamados redes neurais) a partir de neurônios purificados matematicamente. A irmã artificial construiu seus modelos a partir de programas de computador.

Em seu primeiro alvorecer da juventude, as duas tiveram igual sucesso e foram igualmente procuradas por pretendentes de outras áreas do conhecimento. Elas se deram muito bem juntas. A relação delas mudou no começo dos anos 1960, quando um novo monarca surgiu, um monarca que possuía um dos maiores baús de tesouro já vistos no reino das ciências: Lord DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency [Agência de Projetos de Pesquisa Avançada do Departamento de Defesa dos EUA]. A irmã artificial ficou com ciúmes e fez de seu objetivo de vida manter para si mesma o acesso aos fundos de pesquisa de Lord DARPA. A irmã natural teria de ser morta.

O trabalho sujo foi tentado por dois fiéis seguidores da irmã artificial. Marvin Minsky e Seymour Papert, que assumiram o papel do caçador enviado para matar Branca de Neve e trazer de volta o seu coração como prova do trabalho. A arma dos dois não foi a adaga, mas a mais poderosa pena, da qual surgiu um livro - *Perceptrons* - que se propunha a provar que as redes neurais jamais poderiam cumprir sua promessa de construir modelos da mente: somente programas de computador poderiam fazer isso. A vitória parecia assegurada para a irmã artificial. E, de fato, para a próxima década, todas as recompensas do reino vieram para a sua descendência, da qual a família de sistemas especialistas foi mais bem-sucedida em termos de fama e fortuna.

Mas Branca de Neve não morreu. O que Minsky e Papert haviam mostrado ao mundo como prova não era o coração da princesa, era; o coração de um porco.

O autor dessa declaração foi Seymour Papert.³ Sua alusão sardônica a

corações ensanguentados reflete um erro de compreensão bastante disseminado das implicações do teorema fulcral no livro que ele e Minsky escreveram em 1969. O teorema demonstrava limitações nos recursos de uma única camada de neurônios simulados. Se, por outro lado, nós colocarmos redes neurais em vários níveis - fazendo com que a saída de uma rede neural se alimente na próxima o alcance de sua competência expande enormemente. Além do mais, se combinarmos redes neurais com outros paradigmas, podemos conseguir um maior progresso. O coração que Minsky e Papert extraíram pertencia primariamente à rede neural de uma única camada.

A ironia de Papert também reflete as próprias contribuições consideráveis dele e de Minsky para a área da rede neural. Na verdade, Minsky iniciou sua carreira com contribuições seminais para o conceito em Harvard na década de 1950.⁴

Mas chega de política. Quais são as principais questões ao se projetar uma rede neural?

Uma questão fundamental é a topologia da rede: a organização das conexões interneuronais. Uma rede organizada com múltiplos níveis pode criar discriminações mais complexas, mas é mais difícil de treinar.

Treinar a rede é a questão mais crítica. Isto requer uma extensa biblioteca de exemplos dos padrões que se espera que a rede reconheça, juntamente com a identificação correta de cada padrão. Cada padrão é apresentado à rede. Normalmente, essas conexões que contribuíram para uma identificação correta são reforçados (através do aumento de seu peso associado), e as que contribuíram para uma identificação incorreta são enfraquecidas. Este método de reforço e enfraquecimento dos pesos da conexão é chamado de *back-propagation*, e é um dos diversos métodos utilizados. Há controvérsias quanto à maneira como esse aprendizado é realizado nas redes neurais do cérebro humano, pois não parece haver nenhum mecanismo pelo qual possa ocorrer a *back-propagation*. Um método que parece ser implementado no cérebro humano é que o simples disparo de um neurônio aumenta as forças neurotransmissoras das sinapses às quais está conectado. Além disso, os neurobiólogos descobriram, recentemente, que novos neurônios continuam crescendo nos primatas, e com toda probabilidade nos humanos, ao longo da vida, incluindo a idade adulta, contradizendo um dogma anterior de que isso não era possível.

Colinas pequenas e grandes

Uma questão fundamental em algoritmos adaptativos - redes neurais e

algoritmos evolucionários - é frequentemente referida como a *idealidade local versus global*: em outras palavras, subir a colina mais próxima *versus* encontrar e subir a colina maior. A medida que uma rede neural aprende (ajustando as forças de conexão), ou à medida que um algoritmo evolucionário evolui (ajustando o código “genético” dos organismos simulados), a adequação da solução irá melhorar, até que uma solução “localmente ideal” seja encontrada. Se compararmos isso a subir uma colina, esses métodos são muito bons em encontrar o topo de uma colina próxima, que é a melhor solução possível dentro de uma área local de possíveis soluções. Mas, às vezes, esses métodos podem ficar aprisionados no topo de uma pequena colina e não conseguem ver uma montanha mais alta em uma área diferente. No contexto das redes neurais, se a rede neural convergiu para uma solução local ideal, enquanto tenta ajustar qualquer uma das forças de conexão, a adequação se torna pior. Mas, assim como um alpinista poderia precisar descer de uma pequena elevação para depois subir até um ponto mais alto em uma colina diferente, a rede neural (ou algoritmo evolucionário) poderia precisar criar a solução temporariamente pior para acabar achando uma melhor.

Uma abordagem para evitar uma solução ideal “falsa” (colina pequena) é forçar o método adaptativo a fazer a análise várias vezes, começando com condições iniciais muito diferentes - em outras palavras, forçá-la a subir muitas colinas, e não apenas uma. Mas, mesmo com essa abordagem, o projetista do sistema ainda precisa se certificar de que o método adaptativo não perdeu uma montanha ainda maior em uma terra ainda mais distante.

O laboratório de xadrez

Podemos obter alguns insights sobre a comparação do pensamento humano e do computador convencional, examinando novamente as abordagens humana e de máquina para o xadrez. Não faço isso para exagerar a questão do jogo de xadrez, mas porque ilustra um contraste claro. Para Raj Reddy, guru de IA da Carnegie Mellon University, estudos de xadrez desempenham o mesmo papel na inteligência artificial que estudos de *E.coli* na biologia: um laboratório ideal para o estudo de questões fundamentais.⁵ Os computadores utilizam sua grande velocidade para analisar as vastas combinações criadas pela explosão combinatória de movimentos e contramovimentos. Embora os programas de xadrez possam usar alguns outros truques (como armazenar as aberturas de todos os jogos de xadrez dos mestres deste século e precomputar finais de jogo), eles confiam essencialmente em sua combinação de velocidade e precisão. Em

comparação, humanos, até mesmo mestres de xadrez, são extremamente lentos e imprecisos. Então nós precomputamos *todos* os nossos movimentos de xadrez. É por isso que leva tanto tempo para se tornar um mestre de xadrez, ou mestre de qualquer área. Garry Kasparov passou grande parte de suas poucas décadas de vida no planeta estudando - e experimentando - movimentos de xadrez. Pesquisadores estimaram que mestres de um tema não trivial já memorizaram cerca de cinquenta mil desses “pedaços” de insight.

Quando Kasparov joga, ele também gera uma árvore de movimentos e contramovimentos em sua cabeça, mas limitações na velocidade mental humana e na memória de curto prazo limitam sua árvore mental (para cada movimento realmente jogado) a não mais de algumas centenas de posições do tabuleiro, se tanto. Isto é comparável a bilhões de posições de tabuleiro para seu antagonista eletrônico. Então, o mestre humano do xadrez é forçado a podar drasticamente sua árvore mental, eliminando ramos sem frutos, utilizando suas intensas faculdades de reconhecimento de padrões. Ele compara cada posição no tabuleiro - real e imaginada - a esse banco de dados de dezenas de milhares de situações previamente analisadas.

Depois da derrota de Kasparov, em 1997, nós lemos muitas coisas sobre como Deep Blue estava apenas fazendo uma computação numérica maciça, e não realmente “pensando” da maneira como seu rival humano estava. Poderíamos dizer que o caso é o oposto, que o Deep Blue estava, de fato, pensando as implicações de cada movimento e contramovimento, e que foi Kasparov que não teve tempo, de realmente pensar muito durante o torneio. Na maior parte do tempo ele estava simplesmente puxando da memória seu banco mental de situações que havia pensado muito tempo antes (Obviamente, isso depende do conceito de pensamento que se atribui, como discuti no Capítulo 3). Mas, se a abordagem humana ao xadrez - reconhecimento de padrões com base em rede neural utilizada para identificar situações de uma biblioteca de situações previamente analisadas - deve ser considerado como pensamento verdadeiro, então por que não programa nossas máquinas para funcionar do mesmo jeito?

O terceiro caminho

E esta é minha ideia à qual aludi anteriormente como a terceira escola de pensamento, ao avaliar as folhas terminais em uma busca recursiva. Lembre-se de que a escola da mente simples usa uma abordagem como adicionar valores de peças para avaliar uma posição específica do tabuleiro. A escola da mente complicada defende uma análise lógica mais elaborada e demorada. Eu defendo um terceiro caminho: combinar dois paradigmas simples - o recursivo e o da

rede neural - usando a rede neural para avaliar as posições do tabuleiro em cada folha terminal. O treinamento de uma rede neural é demorado e requer muita computação, mas executar uma única tarefa de reconhecimento em uma rede neural que já aprendeu suas lições é muito rápido, se comparado a uma avaliação de mente simples. Embora rápida, a rede neural se aproveita da quantidade muito grande de tempo que passou anteriormente aprendendo o material. Como já temos cada jogo de cada mestre do xadrez neste século on-line, podemos utilizar essa quantidade imensa de dados para treinar a rede neural. Este treinamento é feito uma vez e off-line (isto é, não durante um jogo de verdade). A rede neural treinada seria, então, utilizada para avaliar as posições de tabuleiro em cada folha terminal. Um sistema desses combinaria a vantagem multiplicada por milhões em velocidade que os computadores possuem com a habilidade mais humana de reconhecer padrões contra uma vida inteira de Experiência.

Eu propus esta abordagem a Murray Campbell, chefe da equipe do Deep Blue, e ele a achou intrigante e atraente. Ele já estava ficando cansado mesmo, admitiu, de ajustar o algoritmo de avaliação de folhas à mão. Conversamos sobre montar uma equipe de assessores para implementar essa ideia, mas, então, a IBM cancelou todo o seu projeto de xadrez. Eu acredito que uma das chaves para emular a diversidade da inteligência humana é combinar idealmente paradigmas fundamentais. Vamos falar sobre como dobrar o paradigma de algoritmos evolucionários a seguir.

"PSEUDOCÓDIGO" SEM MATEMÁTICA PARA O ALGORITMO DE REDE NEURAL

Eis aqui o esquema básico para um algoritmo de rede neural. Muitas variações são possíveis, e o projetista do sistema precisa fornecer determinados parâmetros críticos e métodos, detalhados abaixo.

O algoritmo de rede neural

Criar uma solução de rede neural para um problema envolve as seguintes etapas:

- definir o input;
- definir a topologia da rede neural (isto é, as camadas de neurônios e as conexões entre os neurônios);

- treinar a rede neural sobre exemplos do problema;
- executar a rede neural treinada para resolver novos exemplos do problema;
- tornar pública sua companhia de rede neural.

Estas etapas (exceto a última) estão detalhadas a seguir.

O input do problema

O input do problema da rede neural consiste de uma série de números. Este input pode estar:

- em um sistema de reconhecimento de padrões visuais: uma fileira bidimensional de números representando os pixels de uma imagem; ou
- em um sistema de reconhecimento de padrões auditivos (p.ex.: fala): uma fileira bidimensional de números representando um som, na qual a primeira dimensão representa parâmetros do som (p. ex.: componentes de frequência) e a segunda dimensão representa diferentes pontos no tempo; ou
- em um sistema de reconhecimento de padrões arbitrários: uma fileira n-dimensional de números representando o padrão de input.

Definindo a topologia

Para configurar a rede neural.

A arquitetura de cada neurônio consiste de:

- múltiplos inputs no qual cada input está "conectado" ou ao output de outro neurônio ou a um dos números de input;
- geralmente, um único output, que está conectado ou ao input de outro neurônio (que está, normalmente, em uma camada mais alta) ou ao output final.

Configure a primeira camada de neurônios:

- crie N_0 neurônios na primeira camada. Para cada um desses neurônios, "conecte" cada um dos múltiplos inputs do neurônio a "pontos" (isto é, números) no input do problema. Essas conexões podem ser determinadas aleatoriamente ou utilizando-se um algoritmo evolucionário (veja a seguir);

- designe uma "força sináptica" inicial para cada conexão criada. Esses pesos podem começar todos idênticos, podem ser designados de modo aleatório, ou podem ser determinados de outra forma (veja a seguir).

Configure as camadas adicionais de neurônios.

Configure um total de M camada de neurônios. Para cada camada, configure os neurônios naquela camada. Para a camada:

- crie N_i neurônios na camada,. Para cada um desses neurônios, "conecte" cada um dos múltiplos inputs do neurônio aos outputs dos neurônios na camada _{$i-1$} , (veja variações a seguir);
- designe uma "força sináptica" inicial para cada conexão criada. Esses pesos podem começar todos idênticos, podem ser designados de modo aleatório, ou podem ser determinados de outra forma (veja abaixo);
- os outputs dos neurônios na camada _{M} são os outputs da rede neural (veja variações a seguir).

Os testes de reconhecimento

Como cada neurônio funciona.

Assim que o neurônio for configurado, ele faz o seguinte para cada teste de reconhecimento:

- cada input pesado para o neurônio é computado, multiplicando o output do outro neurônio (ou input inicial) ao qual o input desse neurônio está conectado pela força sináptica daquela conexão;
- todos esses inputs pesados para o neurônio são somados;
- se essa soma for maior do que o limiar de disparo desse neurônio, então se considera que esse neurônio "disparou" e seu output é 1; caso contrário, o output dele é 0 (veja variações a seguir).

Faça o seguinte para cada teste de reconhecimento:

Para cada camada, da camada₀ para a camada_M;

E para cada neurônio em cada camada:

- some seus inputs pesados (cada input pesado = o output do outro neurônio [ou input inicial] ao qual o input desse neurônio está conectado, multiplicados pela força sináptica dessa conexão);
- se a soma de inputs pesados for maior do que o limiar de disparo desse neurônio, configure o output desse neurônio = 1, caso contrário configure-o para 0.

Para treinar a rede neural

- Execute repetidos testes de reconhecimento em problemas de amostragem.
- Após cada teste, ajuste as forças sinápticas de todas as conexões interneuronais para aprimorar o desempenho da rede neural neste teste (veja a discussão abaixo sobre como fazer isso).
- Continue esse treinamento até que a taxa de precisão da rede neural não esteja mais aumentando (p. ex: quando alcançar uma assíntota).

Decisões fundamentais de projeto

No esquema simples apresentado, o projetista desse algoritmo de rede neural precisa determinar de saída:

- O que os números de input representam.
- O número de camadas de neurônios.
- O número de neurônios em cada camada (cada camada não precisa necessariamente ter o mesmo número de neurônios).
- O número de inputs de cada neurônio, em cada camada. O número de inputs (isto é, conexões interneuronais) também pode variar para cada neurônio, e para cada camada.
- O "cabeamento" (isto é, as conexões) real. Para cada neurônio, em cada

camada, isto consiste de uma lista de outros neurônios, cujos outputs constituem os inputs deste neurônio. Isto representa uma área fundamental do projeto. Existe uma série de maneiras possíveis de se fazer isso:

- (i) cabear aleatoriamente a rede neural; ou
- (ii) utilizar um algoritmo evolucionário (veja a próxima seção deste Apêndice) para determinar um cabeamento ideal; ou
- (iii) utilizar o melhor julgamento do projetista do sistema para determinar o cabeamento.

- A força sináptica inicial (isto é, pesos) de cada conexão. Existe uma série de maneiras possíveis de se fazer isso:

- (i) configurar as forças sinápticas para o mesmo valor; ou
- (ii) configurar as forças sinápticas para diferentes valores aleatórios; ou
- (iii) utilizar um algoritmo evolucionário para determinar um conjunto ideal de valores iniciais; ou
- (iv) utilizar o melhor julgamento do projetista do sistema para determinar os valores iniciais.

- O limiar de disparo de cada neurônio.

- O output. O output pode ser:

- (i) os outputs da camada_M de neurônios; ou
- (ii) o output de um único neurônio de outputs, cujos inputs são os outputs dos neurônios da camada_M;
- (iii) uma função (p.ex: uma soma) dos outputs dos neurônios na camada_M:
ou
M'
- (iv) outra função de outputs de neurônios em múltiplas camadas.

- Como as forças sinápticas de todas as conexões são ajustadas durante o

treinamento desta rede neural. Esta é uma decisão fulcral de projeto e o tema de muitas pesquisas e discussões sobre redes neurais. Existe uma série de maneiras possíveis de se fazer isso.

(i) Para cada treinamento de reconhecimento, incrementa-se ou decrementa-se cada força sináptica por uma quantidade fixa (geralmente pequena), de modo que o output da rede neural corresponda mais proximamente à resposta correta. Uma maneira de fazer isso é tentar, ao mesmo tempo, incrementar e decrementar e ver qual tem o efeito mais desejável. Isto pode levar muito tempo, por isso existem outros métodos para tomar decisões locais sobre a quanto incrementar ou decrementar cada força sináptica.

(ii) Existem outros métodos estatísticos para modificar as forças sinápticas após cada teste de reconhecimento, de modo que o desempenho da rede neural desse teste corresponda mais proximamente à resposta correta.

Repare que o treinamento de rede neural funcionará, ainda que as respostas dos testes de treinamento não estejam todas corretas. Isto permite o uso de dados de treinamento do mundo real que podem ter uma taxa de erro inerente. Uma chave para o sucesso de um sistema de reconhecimento com base em redes neurais é a quantidade de dados utilizados para treinamento. Normalmente, é necessária uma quantidade bem substancial para se obterem resultados satisfatórios. Assim como os estudantes humanos, a quantidade de tempo que uma rede neural gasta aprendendo suas lições é um fator fundamental em seu desempenho.

Variações

Muitas variações do que foi escrito são viáveis. Algumas variações incluem:

- Existem maneiras diferentes de determinar a topologia, conforme descrito anteriormente. Em particular, o cabeamento interneuronal pode ser configurado de modo aleatório ou pela utilização de um algoritmo evolucionário.

- Existem maneiras diferentes de configurar as forças sinápticas iniciais, conforme descrito anteriormente.
- Os inputs dos neurônios na camada, não precisam necessariamente vir dos outputs dos neurônios na camada_M. Os inputs dos neurônios em cada camada podem vir de qualquer camada inferior ou de qualquer camada.
- Existem maneiras diferentes de determinar o output final, conforme descrito anteriormente.
- Para cada neurônio, o método descrito se compara com a soma dos inputs pesados para o limiar desse neurônio. Se o limiar for ultrapassado, o neurônio dispara e seu output é 1. Caso contrário, seu output é 0. Este tipo de disparamento "tudo ou nada" é chamado de não-linearidade. Existem outras funções não-lineares que podem ser utilizadas. Normalmente, é usada uma função que vai de 0 a 1 de forma rápida porém mais gradual (do que tudo ou nada). Além disso, os outputs podem ser número diferentes de 0 e 1.
- Os diferentes métodos para ajustar as forças sinápticas durante treinamento, descritos brevemente, representam uma decisão fundamental de projeto.
- O esquema apresentado descreve uma rede neural "síncrona", na qual cada teste de reconhecimento procede computando os outputs de cada camada, começando com a camada₀ até a camada_M. Em um sistema paralelo verdadeiro, no qual cada neurônio está operando de modo independente dos outros, os neurônios podem operar de forma assíncrona (isto é, independente). Em uma abordagem assíncrona, cada neurônio está constantemente escaneando seus inputs e disparos (isto é, altera seu output de 0 para 1) sempre que a soma de seus inputs pesados excede seu limiar (ou utilizando outra função de output não-linear.)

Feliz adaptação

ALGORITMOS EUOLUCIONARIOS

Se os biólogos ignoraram a auto-organização, não é porque a auto-ordenação não seja penetrante ou profunda. E porque os biólogos ainda precisam compreender como pensar em sistemas governados simultaneamente por duas fontes de ordem. Quem, ao ver o floco de neve, que, vendo moléculas

simples de lipídios soltas à deriva em água se formando em vesículas de lipídios ocas parecidas com células, que, vendo o potencial para a cristalização da vida em enxames de moléculas reativas, que, vendo a ordem estonteante em redes conectando dezenas e dezenas de milhares de variáveis, pode deixar de ter um pensamento central: se algum dia formos chegar a uma teoria final na biologia, teremos certamente de compreender a mistura da auto-organização e seleção. Teremos de ver que somos as expressões naturais de uma ordem mais profunda. Em, última análise, descobriremos em nosso mito de criação que somos esperados, afinal.

- Stuart Kauffman

Conforme discuti antes, um algoritmo evolucionário envolve um ambiente simulado no qual “criaturas” simuladas de software competem pela sobrevivência e pelo direito de se reproduzir. Cada criatura de software representa uma solução possível para um problema codificado em seu “DNA” digital.

As criaturas que têm a permissão de sobreviver e se reproduzir para dar origem à próxima geração são as que fazem um melhor trabalho de resolução do problema. Algoritmos evolucionários são considerados como parte de uma classe de métodos “emergentes” porque as soluções emergem gradualmente e, normalmente, não podem ser previstas pelos projetistas do sistema. Algoritmos evolucionários são particularmente poderosos quando são combinados com nossos outros paradigmas. Aqui está uma maneira única de combinar todos os nossos paradigmas “inteligentes”.

Combinando todos os três paradigmas

O genoma humano contém 3 bilhões de degraus de pares de base, o que equivale a 6 bilhões de bits de dados. Com um pouco de compactação de dados, seu código genético caberá em um único CD-ROM. Você pode armazenar toda a sua família em um DVD. Mas seu cérebro tem 100 trilhões de “fios”, o que exigiria cerca de 3 quatrilhões de bits para representar. Como os meros 12 bilhões de bits de dados em seus cromossomos (com estimativas contemporâneas indicando que somente 3% disso está ativo) projetam o cabeamento de seu cérebro, que constitui cerca de um quarto de milhão de vezes mais informação?

Obviamente, o código genético não especifica o cabeamento exato. Eu disse antes que podemos escrever uma rede neural aleatoriamente e obter resultados satisfatórios. Isso é verdade, mas existe um jeito melhor de fazer isso, e esse jeito é utilizar a evolução. Não estou me referindo aos bilhões de anos de evolução que produziram o cérebro humano. Estou me referindo aos meses de evolução que acontecem durante a gestação e a primeira infância. No início de nossas vidas, nossas conexões interneuronais estão ocupadas lutando pela sobrevivência. As que entendem melhor o mundo sobrevivem. Ao fim da infância, essas conexões se tornam relativamente fixas, e é por isso que vale a pena expor bebês e crianças a um ambiente estimulante. Caso contrário, este processo evolucionário ficará sem o caos do mundo real do qual podemos tirar inspiração.

Podemos fazer a mesma coisa com nossas redes neurais sintéticas: utilizar um algoritmo evolucionário para determinar o cabeamento óptico. Isto é exatamente o que o ambicioso projeto de construção de cérebro do Laboratório de Pesquisa Avançada em Telecomunicações de Kyoto está fazendo.

Agora, eis como você pode resolver de modo inteligente um problema desafiador, utilizando todos os três paradigmas. Primeiro, enuncie cuidadosamente seu problema. Na verdade, esta é a etapa mais difícil. A maioria das pessoas tenta resolver problemas sem se preocupar em compreender do que trata o problema. Em seguida, analise os contornos lógicos de seu problema, *recursivamente* fazendo uma busca pelo maior número de combinações de elementos (por exemplo, movimentos em um jogo, etapas em uma solução) que você e seu computador tiverem a paciência de vasculhar. Para as folhas terminais desta expansão recursiva de soluções possíveis, avalie-as com uma *rede neural*. Para a topologia ideal de sua rede neural, determine isso, utilizando um algoritmo *evolucionário*. E, se nada disso funcionar, então você de fato tem um problema difícil nas mãos.

"PSEUDOCÓDIGO" PARA O ALGORITMO EVOLUCIONÁRIO

Eis o esquema básico para um algoritmo evolucionário. Muitas variações são possíveis, e o projetista do sistema precisa fornecer determinados parâmetros críticos e métodos, detalhados abaixo.

O ALGORITMO EVOLUCIONÁRIO

Crie N "criaturas" de solução. Cada uma tem:

- Um código genético - uma sequência de números que caracterizam uma possível solução para o problema. Os números podem representar parâmetros críticos, etapas para uma solução, regras *etc.*

Para cada geração de evolução, faça o seguinte:

- Faça o seguinte para cada uma das N criaturas de solução:
 - (i) aplique a solução da criatura desta solução (conforme representada por seu código genético) ao problema, ou ambiente simulado;
 - (ii) defina uma classificação baseada em notas para a solução;
 - Pegue as L criaturas de solução com as taxas mais altas para sobreviver até a próxima geração.
 - Elimine as criaturas de solução (N-L) não sobreviventes.
 - Crie novas criaturas de solução (N-L) a partir das criaturas de solução sobreviventes, fazendo o seguinte:
 - (i) criar cópias das L criaturas sobreviventes. Introduzir pequenas variações aleatórias em cada cópia; ou
 - (ii) criar criaturas de solução adicionais combinando partes do código genético (utilizando reprodução "sexuada" ou, então, combinando porções dos cromossomos) das L criaturas sobreviventes; ou
 - (iii) fazer uma combinação de (i) e (ii) acima;
 - Determine se se deve continuar evoluindo ou não.

Aprimoramento = (taxa mais alta nesta geração) - (taxa mais alta na geração anterior)

Se Aprimoramento < Limiar de Aprimoramento, então acabamos.

- **A Criatura de Solução com a taxa mais alta desde a última geração de evolução tem a melhor solução. Aplique a solução definida por seu**

código genético para o problema.

Decisões fundamentais de projeto

No esquema simples apresentado, o projetista desse algoritmo de rede neural precisa determinar de saída:

- Parâmetros fundamentais:

N

L

Limiar de Aprimoramento

- O que os números do código genético representam e como a solução é computada a partir do código genético.
- Um método para determinar as N criaturas de solução na primeira geração. Em geral, estas necessitam somente ser tentativas "razoáveis" de uma solução. Se essas soluções de primeira geração estiverem muito longe da realidade, o algoritmo evolucionário poderá encontrar dificuldades para convergir em uma boa solução. Muitas vezes vale a pena criar as criaturas de solução iniciais de maneira tal que elas sejam razoavelmente diversas. Isto ajudará a impedir que o processo evolucionário simplesmente encontre uma solução ideal "localmente".
- Como as soluções são classificadas.
- Como as criaturas de solução sobreviventes se reproduzem.

Variações

Muitas variações do que foi anteriormente descrito são viáveis. Algumas variações incluem:

- Não precisa existir um número fixo de criaturas de solução sobreviventes (p.ex.: "L") a partir de cada geração. A(s) regra(s) de sobrevivência podem permitir um número variável de sobreviventes.

- Não precisa existir um número fixo de novas criaturas de solução criadas em cada geração (isto é, $[N-L]$). As regras de procriação podem ser independentes do tamanho da população. A procriação pode estar relacionada à sobrevivência, permitindo assim que as criaturas de solução mais aptas procriem mais.
- A decisão quanto a continuar ou não evoluindo pode ser variada. Ela pode levar em conta mais do que simplesmente a criatura de solução com a classificação mais alta da(s) mais recente(s) geração(ões). Pode também considerar uma tendência que vai além simplesmente das duas últimas gerações.

Feliz evolução!

GLOSSARIO

iron Um robô computadorizado (e seu software associado), projetado por Harold Cohen, que cria desenhos e pinturas originais.

ente inteligente Um programa de software autônomo que executa uma função por conta própria, como vasculhar a Web em busca de informações de interesse para uma pessoa com base em determinados critérios.

ixandre, a solução de Um termo que se refere ao episódio histórico em que Alexandre, o Grande, cortou com sua espada o nó górdio. Uma referência à solução de um problema insolúvel com meios decisivos, porém inesperados e indiretos.

goritmo Uma sequência de regras e instruções que descreve um procedimento para resolver um problema. Um programa de computador expressa um ou mais algoritmos de uma forma que possa ser compreendida por um computador.

goritmo evolucionário Sistemas de resolução de problemas por computador que utilizam modelos computacionais dos mecanismos da evolução como elementos fulcrais em seu design.

goritmo genético Um modelo de aprendizado de máquina que deriva seu comportamento de uma metáfora dos mecanismos da evolução na natureza. Dentro de um programa, uma população de “indivíduos” simulados é criada e passa por um processo de evolução em um ambiente competitivo simulado.

i Uma sequência sem sentido de 300 letras de nucleotídeos que ocorre 300 mil vezes no genoma humano.

ambiente tátil virtual Um sistema de realidade virtual que permite que o usuário vivencie um ambiente tátil realista e inteiramente abrangente.

alógica Uma quantidade que varia constantemente, oposta à variação em etapas discretas. A maioria dos fenômenos do mundo natural é analógica. Quando medimos e damos a eles um valor numérico, nós os digitalizamos. O cérebro humano usa tanto a computação digital quanto a analógica.

gel Capital Referência aos fundos de investimento por redes de investidores ricos que investem em empresas *start-up*. Uma fonte fundamental de capital para empresas *start-up* de alta tecnologia nos Estados Unidos.

ista cibernético Um programa de computador que seja capaz de criar obras de arte originais em poesia, artes visuais ou música. Artistas cibernéticos se tornarão cada vez mais comuns, começando a partir de 2009.

R Veja Reconhecimento automático de fala.

to-replicação Um processo ou dispositivo capaz de criar uma cópia adicional de si mesmo. Nanobôs são auto-replicantes se conseguirem criar cópias deles

próprios. A auto-replicação é considerada um meio necessário de fabricação de nanobôs devido ao número muito grande (isto é, trilhões) desses dispositivos necessários para executar funções úteis.

M *Veja* Música Gerada pelo Cérebro.

§ Bang, teoria do Uma teoria importante sobre o início do Universo: a explosão cósmica, partindo de um único ponto de densidade infinita, que marcou o começo do Universo.

§ Crunch Uma teoria que reza que o Universo um dia perderá momentum em sua expansão e se contrairá, entrando em colapso em um evento que é o oposto do Big Bang.

» Engenharia A área que projeta drogas farmacêuticas e variedades de vida animal e vegetal, modificando diretamente o código genético. Materiais, drogas e formas de vida alteradas pela bioEngenharia são utilizados na agricultura, na medicina e no tratamento de doenças.

» Biologia O estudo de formas de vida. Em termos evolucionários, a emergência de padrões de matéria e energia que poderiam sobreviver e se replicar para formar futuras gerações.

» Warfare Agency (BWA) Na segunda década do século XXI, um órgão do governo dos EUA que monitora e policia a tecnologia de bioEngenharia aplicada a armas.

Contração da expressão *binary digit* (dígito binário). Em um código binário, um entre dois valores possíveis, normalmente zero e um. Em teoria da informação, a unidade fundamental de informação.

UTUS.I Um programa de computador que cria histórias ficcionais com um tema de traição. Inventado por Selmer Bringsjord, Dave Ferucci e uma equipe de engenheiros de software no Rensselaer Polytechnic Institute, em Nova York.

» Buckyball Uma molécula no formato de uma bola de futebol formada por um grande número de átomos de carbono. Devido à sua forma que alterna padrões pentagonais e hexagonais, as moléculas foram batizadas de *buckyballs*, em referência aos designs de prédios de R. Buckminster Fuller.

» Busca Procedimento recursivo no qual um solucionador de problemas automático busca uma solução para explorar de modo iterativo sequências de alternativas possíveis.

» Busy beaver Um exemplo de uma classe de funções não computacionais; um problema insolúvel de matemática. Sendo um “problema insolúvel de máquina de Turing”, a função *busy beaver* [castor ocupado] não pode ser computada por uma máquina de Turing. Para computar o *busy beaver* de n , é preciso criar todas as máquinas de Turing de estado n que não escrevam um número infinito de ls

em sua fita. O maior número de ls escrito pela máquina de Turing neste conjunto que escreve o maior número de ls é o *busy beaver* de n.

/A Veja Biowarfare Agency.

te contração de *by eight* (por oito). Um grupo de oito bits aglomerado para armazenar uma unidade de informação em um computador. Um byte pode corresponder, por exemplo, a uma letra do alfabeto inglês.

culo de conexão neural Em uma rede neural, um termo que se refere ao cálculo primário de multiplicação da “força” de uma conexão neural pelo input para aquela conexão (que é ou o output de outro neurônio ou um input inicial para o sistema) e, em seguida, a adição desse produto à soma acumulada desses produtos de outras conexões para este neurônio. Esta operação é altamente repetitiva, portanto os computadores neurais são otimizados para executá-la.

ninho neural direto Comunicação eletrônica direta com o cérebro. Em 2029, os caminhos neurais diretos, combinados com a tecnologia de comunicação wireless, irão conectar humanos diretamente com a rede de computação mundial (a Web).

os A quantidade de desordem ou comportamento imprevisível em um sistema. Em referência à Lei do Tempo e do Caos, o caos se refere à quantidade de eventos aleatórios e imprevisíveis que são relevantes para um processo.

ção perfurado Um cartão retangular que costuma registrar até 80 caracteres de dados em um formato de código binário como um padrão de furos perfurado nele.

-ROM (*compact disc read-only memory*) Um disco de leitura a laser que contém até meio bilhão de bytes de informação. *Read only* (somente leitura) se refere ao fato de que a informação pode ser lida, mas não deletada nem gravada, no disco.

ip Uma coleção de circuitos relacionados que trabalham juntos em uma tarefa ou conjunto de tarefas, residindo em um wafer de material semiconductor (tipicamente, silício).

ip de visão Uma emulação, em silício, da retina humana, que captura o algoritmo do processamento visual mamífero primitivo, um algoritmo chamado filtragem surround central.

ip tridimensional Um chip construído em três dimensões, permitindo, assim, centenas ou milhares de camadas de circuito. Chips tridimensionais estão sendo pesquisados atualmente e fabricados por uma série de empresas.

ibernética Um termo cunhado por Norbert Wiener para descrever a “ciência do controle e da comunicação em animais e máquinas”. A cibernética é baseada na teoria de que seres vivos inteligentes se adaptam a seus ambientes e realizam objetivos primariamente, reagindo a feedback do ambiente que os cerca.

Colossus O primeiro computador eletrônico, construído pelos britânicos a partir de 1.500 válvulas de rádio durante a Segunda Guerra Mundial. O Colossus e nove máquinas semelhantes rodando em paralelo foram, aos poucos, quebrando complexos códigos alemães na inteligência militar e colaboraram com a vitória das forças armadas na Segunda Guerra Mundial.

Computação O processo de calcular um resultado pelo uso de um algoritmo (por exemplo: um programa de computador) e dados relacionados. A capacidade de lembrar e resolver problemas.

Computação, meio de Circuitos de computação capazes de implementar um ou mais algoritmos. Entre os exemplos estão os neurônios humanos e os chips de silício.

Computação coletiva na Internet, proposta para Uma proposta para coletar os recursos computacionais não utilizados de computadores pessoais na Internet e, portanto, criar supercomputadores paralelos virtuais. Em 1998, existiam “cômputos” não utilizados suficientes na

Internet para criar supercomputadores com capacidade equivalente à do cérebro humano, pelo menos em termos de capacidade de hardware.

Computação cristalina Um sistema no qual os dados são armazenados em um cristal como um holograma, concebido por Lambertus Hesselink, professor de Stanford. Esse método tridimensional de armazenamento requer 1 milhão de átomos para cada bit e pode atingir até 1 trilhão de bits de armazenamento para cada centímetro cúbico. A computação cristalina também se refere à possibilidade de fazer com que computadores cresçam como cristais.

Computação por DNA Uma forma de computação, pensada primeiramente por Leonard Adleman, na qual moléculas de DNA são utilizadas para resolver complexos problemas matemáticos. Computadores de DNA permitem que trilhões de computações sejam executadas simultaneamente.

Computação quântica Um método revolucionário de computação, baseado em física quântica, que utiliza a capacidade dos elétrons de existir em mais de um estado ao mesmo tempo. *Veja* Qu-bit.

Computador Uma máquina que implementa um algoritmo. Um computador transforma dados de acordo com as especificações de um algoritmo. Um computador programável permite que o algoritmo seja modificado.

Computador, linguagem de Um conjunto de regras e especificações para descrever um algoritmo ou processo em um computador.

Computador com programa armazenado Um computador no qual o programa fica armazenado na memória, juntamente com os dados a serem operados. A capacidade de um programa armazenado é um recurso importante para sistemas de inteligência artificial porque recursão e código automodificador não são possíveis sem ele.

computador molecular Um computador baseado em portas lógicas, construído sobre princípios de mecânica molecular (em oposição a princípios de eletrônica) por intermédio de arranjos adequados de moléculas. Como o tamanho de cada porta lógica (dispositivo que pode executar uma operação lógica) é de apenas uma ou algumas moléculas, o computador resultante pode ser de tamanho microscópico. Limitações de computadores moleculares surgem somente da física dos átomos. Computadores moleculares podem ser maciçamente paralelos, tendo computações paralelas realizadas por trilhões de moléculas simultaneamente. Computadores moleculares têm sido demonstrados utilizando-se a molécula de DNA.

computador neural Um computador com hardware otimizado para utilizar o paradigma da rede neural. Um computador neural é projetado para simular um número maciço de modelos de neurônios humanos.

computador óptico Um computador que processa informações codificadas em padrões de raios de luz, diferentemente dos computadores convencionais de hoje, nos quais a informação é representada em circuitos eletrônicos ou codificada em superfícies magnéticas. Cada feixe de fótons pode representar uma sequência independente de dados, fornecendo, assim, uma computação paralela extremamente maciça.

computador pessoal Termo genérico para um computador de um único usuário, que utiliza um microprocessador e inclui o hardware e o software de computação necessários para que um indivíduo trabalhe de modo autônomo.

computador serial Computador que executa uma única computação de cada vez. Logo, duas ou mais computações são executadas uma após a outra, não simultaneamente (ainda que as computações sejam independentes). O oposto de um computador de processamento paralelo.

conexionismo Uma abordagem ao estudo da inteligência e à criação de soluções inteligentes para problemas. O conexionismo é baseado no armazenamento de conhecimento de resolução de problemas como um padrão de conexões entre um número muito grande de unidades de processamento simples operando em paralelo.

consciência A capacidade de ter Experiências subjetivas. A capacidade de um ser, animal ou entidade de ter autopercepção e autoconsciência. A capacidade de sentir. Uma questão fulcral no século XXI é se os computadores irão adquirir consciência (coisa que se considera que seus criadores humanos tenham).

corpo virtual Na realidade virtual, o corpo de uma pessoa potencialmente transformado para aparecer (e, em última análise, para sentir) diferente do que na realidade “real”.

crescimento exponencial Caracterizado pelo crescimento no qual o tamanho

aumenta por um múltiplo fixo ao longo do tempo.

R *Veja* Reconhecimento de fala contínua.

emetic Poet, de Ray Kurzweil Programa de computador criado por Ray Kurzweil, que usa uma abordagem recursiva para criar poesia. O Cybernetic Poet analisa padrões de sequências de palavras de poemas que “leu” usando modelos de Markov (um primo matemático de redes neurais) e cria nova poesia com base nesses padrões.

abase A coleção estruturada de dados que é projetada em conexão com um sistema de recuperação de informações. Um sistema de gerenciamento de banco de dados DBMS [*database management system*] permite o monitoramento, a atualização e a interação com o banco de dados.

ugar O processo de descoberta e correção de erros em hardware e software de computador. A questão de bugs ou erros em um programa irá se tornar cada vez mais importante à medida que os computadores forem sendo integrados ao cérebro e à fisiologia humanas no decorrer do século XXI. O primeiro “bug” foi, na verdade, uma mariposa, descoberta por Grace Murray Hopper, a primeira programadora do computador Mark I.

ep Blue O programa de computador, criado pela IBM, que derrotou Garry Kasparov, o campeão mundial de xadrez, em 1997.

sagregação quântica Processo no qual o ambíguo estado quântico de uma partícula (como o spin do núcleo de um elétron representando um qu-bit em um computador quântico) é resolvido em um estado não ambíguo como resultado de observação direta ou indireta por um observador consciente.

struir-todas-as-cópias, movimento Em 2009, um movimento para permitir que um indivíduo apague seu arquivo mental e destrua todas as cópias de backup desse arquivo.

igital O que varia em etapas discretas. O uso de combinações de bits para representar dados em computação. Contrasta com analógico.

play de bloqueio de realidade virtual Em 2019, uma tecnologia de display que utiliza lentes ópticas de realidade virtual (veja p. 413) e lentes auditivas de realidade virtual (veja p. 413) que cria ambientes visuais virtuais altamente realistas. O display bloqueia o ambiente real, para que você veja e ouça somente o ambiente virtual projetado.

Display de sobreposição de realidade virtual Em 2019, uma tecnologia de display que utiliza lentes ópticas de realidade virtual (veja p. 413) e lentes auditivas de realidade virtual (veja p. 413) que integra os ambientes real e virtual. As imagens exibidas deslizam quando você se move ou gira a cabeça, de modo que as pessoas, objetos e ambiente virtuais pareçam permanecer estacionários em relação ao ambiente real (que você ainda pode ver). Logo, se o

display direto no olho estiver exibindo a imagem de uma pessoa (que poderia ser uma pessoa real geograficamente remota numa conversa telefônica visual tridimensional com você, ou uma pessoa simulada gerada por computador), essa pessoa projetada pareceria estar em um lugar particular relativo ao ambiente real que você também vê. Quando você move a cabeça, essa pessoa projetada parecerá permanecer no mesmo lugar relativo ao ambiente real.

play direcionado para a cabeça de realidade virtual Em 2019, uma tecnologia de display que utiliza lentes ópticas de realidade virtual (veja p. 413) e lentes auditivas de realidade virtual (veja p. 413) que projeta um ambiente virtual estacionário com relação à posição e orientação de sua cabeça. Quando você move a cabeça, o display se move relativamente ao ambiente real. Este modo é usado com frequência para interagir com documentos virtuais.

versidade Variedade de opções, na qual a evolução acontece. Um recurso essencial para um processo evolucionário. O outro recurso para a evolução é sua própria ordem cada vez maior.

IA (ácido desoxirribonucléico) Os tijolos de construção de todas as formas de vida orgânicas. No século XXI, as formas de vida inteligentes serão baseadas em novas tecnologias computacionais e em nanoEngenharia.

D (*digital video disc*) Um sistema de compact disc de alta densidade que utiliza um laser mais concentrado do que o CD-ROM convencional, com capacidades de armazenamento de até 9,4 gigabytes em um disco de dupla-face. Um DVD possui capacidade suficiente para conter um filme inteiro.

aranhamento quântico Uma relação entre duas partículas fisicamente separadas sob circunstâncias especiais. Dois fótons podem estar “emaranhados quanticamente” se produzidos pela mesma interação de partículas e emergirem em direções opostas. Os dois fótons permanecem emaranhados quanticamente um com o outro, até mesmo quando separados por distâncias muito grandes (mesmo anos-luz de distância). Numa circunstância dessas, os dois fótons emaranhados quanticamente, se cada um for forçado a tomar uma decisão para escolher entre dois caminhos igualmente prováveis, tomarão uma decisão idêntica e o farão no mesmo instante no tempo. Como não existe elo de comunicação possível entre os dois fótons emaranhados quanticamente, a física clássica preveria que suas decisões teriam sido tomadas de modo independente. Mas os dois fótons emaranhados quanticamente tomam a mesma decisão e o fazem no mesmo instante no tempo. Experiências demonstraram que, mesmo que existisse um caminho desconhecido de comunicação entre eles, não haveria tempo suficiente para que uma mensagem viajasse de um fóton para outro à velocidade da luz.

II *Veja* Experiências com Inteligência Musical.

criptação Codificar informações para que somente o destinatário pretendido possa compreender a mensagem, decodificando-a. O PGP (Pretty Good Privacy) é um exemplo de encriptação.

criptação quântica Uma forma possível de encriptação utilizando-se feixes de partículas quânticas emaranhadas como fótons. *Veja* Emaranhamento quântico.

engenharia do conhecimento A arte de projetar e construir sistemas especialistas. Em particular, coletar conhecimento e regras heurísticas a partir de especialistas humanos em sua área de especialidade e montá-las de modo a formar uma base de conhecimento ou sistema especialista.

engenharia reversa A análise de um produto, programa ou processo para compreendê-lo e para determinar seus métodos e algoritmos. Escanear e copiar os métodos computacionais mais importantes de um cérebro humano para um computador neural de capacidade suficiente é um exemplo futuro de Engenharia reversa.

entropia Em termodinâmica, uma medida do caos (movimento imprevisível) de partículas e energia indisponível em um sistema físico de muitos componentes. Em outros contextos, uma expressão usada para descrever a extensão da aleatoriedade e da desordem em um sistema.

exame de neblina, projeção por Em meados e no final do século XXI, uma tecnologia que permite projeções de objetos físicos e entidades por intermédio do comportamento de trilhões de Foglets. A aparência física de Molly para o autor, em 2099, é criada por uma projeção de enxame de neblina. *Veja* Foglet; Utility fog.

evolução Um processo no qual diversas entidades (às vezes chamadas organismos) competem por recursos limitados em um ambiente, com os organismos mais bem-sucedidos capazes de sobreviver e se reproduzir (até um ponto maior) em gerações subsequentes. Ao longo de muitas gerações assim, os organismos vão se tornando melhor adaptados à sobrevivência. Ao longo de gerações, a ordem (adequação de informações para um objetivo) do design dos organismos aumenta, sendo o objetivo a sobrevivência. Em um “algoritmo” evolucionário, por exemplo (veja p. 404), o objetivo pode ser definido como a descoberta da solução de um problema complexo. A evolução também se refere a uma teoria na qual cada forma de vida na Terra tem sua origem em uma forma anterior.

experiência objetiva A experiência de uma entidade quando observada por outra entidade, ou aparato de medição.

experiência subjetiva A experiência de uma entidade conforme vivenciada pela entidade, em oposição a observações daquela entidade (incluindo seus processos internos) por outra entidade, ou por um aparato de medição.

experiências com Inteligência Musical (EMI) [*Experiments in Musical Intelligence*]

Um

programa de computador que compõe trilhas musicais. Criado pelo compositor David Cope.

Explosão combinatorial O crescimento rápido exponencial do número de maneiras possíveis de escolher combinações diferentes de elementos, a partir de um conjunto, à medida que o número de elementos daquele conjunto cresce. Em um algoritmo, o rápido crescimento do número de alternativas a serem exploradas enquanto se executa a busca da solução de um problema.

FemtoEngenharia Em 2099, uma proposta de tecnologia de computação na escala femtométrica (um milésimo de trilionésimo de metro). A femtoEngenharia exige o controle de mecanismos dentro de um quark. Molly discute propostas de femtoEngenharia com o autor, em 2099.

Foglet Um robô hipotético que consiste de um dispositivo do tamanho de uma célula humana e que possui 12 braços voltados para todas as direções. Na ponta dos braços, existem pinças para que os Foglets possam agarrar uns aos outros, de modo a formar estruturas maiores. Esses nanobôs são inteligentes e conseguem fundir suas capacidades computacionais uns com os outros para criar uma inteligência distribuída. Foglets são criação de J. Storrs Hall, cientista de informática da Rutgers University.

Busca recursiva Um paradigma de programação de computadores que utiliza busca recursiva para encontrar a solução para um problema. A busca recursiva é baseada em uma definição precisa do problema (por exemplo: as regras de um jogo como xadrez).

Função inteligente Uma função que requer o aumento da inteligência para computar argumentos cada vez maiores. O *busy beaver* é um exemplo de uma função inteligente.

Imagem mental Uma estimulação de uma área do cérebro que evoca um sentimento normalmente obtido a partir de Experiência física ou mental real.

General Problem Solver Procedimento e programa desenvolvido por Allen Newell, J. C. Shaw e Herbert Simon, o GPS atinge um objetivo utilizando busca recursiva e aplicando regras para gerar as alternativas em cada ramo na recursão expansiva de possíveis sequências. O GPS utiliza um procedimento para medir a “distância” do objetivo.

Háptica O desenvolvimento de sistemas que permitem que uma pessoa experimente a sensação de toque na realidade virtual. *Veja* Interface háptica.

Holograma Um padrão de interferência, frequentemente utilizando mídia fotográfica, que é codificado por raios laser e lido por intermédio de raios laser de baixa potência. Este padrão de interferência pode reconstruir uma imagem tridimensional. Uma propriedade importante de um holograma é que a

informação é distribuída ao longo de todo o holograma. Corte um holograma pela metade, e ambas as metades exibirão a imagem inteira, só que com metade da resolução. Arranhar um holograma não provoca efeito visível na imagem. Considerasse que a memória humana é distribuída de maneira semelhante.

mo erectus “Homem ereto”. O *Homo erectus* surgiu na África, há cerca de 1,6 milhões de anos, e desenvolveu o uso do fogo, de roupas, linguagem e uso de armas.

mo habilis “Homem hábil”. Um ancestral direto do *Homo erectus* e, por extensão, do *Homo sapiens*. O *Homo habilis* viveu aproximadamente entre 2 a 1,6 milhões de anos. Os hominídeos *Homo habilis* eram diferentes dos hominídeos anteriores pelo tamanho maior do cérebro, dieta de plantas e carne, e criação e uso de ferramentas rudimentares.

mo sapiens Espécie humana que emergiu há, talvez, 400 mil anos. *Homo sapiens* são semelhantes aos primatas avançados, em termos de sua herança genética, e se distinguem pela criação de tecnologia, incluindo arte e linguagem.

mo sapiens neanderthal (neanderthalensis) Subespécie do *Homo sapiens*. Acredita-se que o *Homo sapiens neanderthalensis* evoluiu do *Homo erectus*, há cerca de 100 mil anos, na Europa e no Oriente Médio. Esta subespécie altamente inteligente cultivou uma cultura inteira que incluía ritos funerários adequados, enterrar seus mortos com ornamentos, cuidar dos doentes e criar ferramentas para uso doméstico e para proteção. O *Homo sapiens neanderthalensis* desapareceu por volta de 35 a 40 mil anos atrás, com toda probabilidade como resultado de um violento conflito com o *Homo sapiens sapiens* (a subespécie dos humanos contemporâneos).

mo sapiens sapiens Outra subespécie do *Homo sapiens* que emergiu na África há cerca de 90 mil anos. Os humanos contemporâneos são os descendentes diretos desta subespécie.

ot savant Sistema ou pessoa altamente habilidosa em uma área de tarefas restrita, mas fora de contexto, e por isso é deficiente em áreas mais gerais de funcionamento inteligente. O termo é retirado da psiquiatria, em que se refere a uma pessoa que exibe brilhantismo em um domínio muito limitado do conhecimento, mas é subdesenvolvida em termos de senso comum, conhecimento e competência. Por exemplo, alguns *idiots savants* humanos são capazes de multiplicar números muito grandes em suas cabeças, ou memorizar um catálogo telefônico. Deep Blue é um exemplo de um sistema *idiot savant*.

imagem por ressonância magnética (MRI) [magnetic resonance imaging] Técnica diagnóstica não invasiva que produz imagens computadorizadas de tecidos do corpo e é baseada na ressonância magnética nuclear de átomos dentro do corpo,

produzida pela aplicação de ondas de rádio. Uma pessoa é colocada em um campo magnético 30 mil vezes maior do que o campo magnético normal da Terra. O corpo da pessoa é estimulado com ondas de rádio, e ele responde com suas próprias transmissões eletromagnéticas. Estas são detectadas e processadas por computador para gerar um mapa tridimensional de recursos internos de alta resolução como vasos sanguíneos.

Implante coclear Um implante que executa análises de frequência de ondas sonoras, função semelhante à do ouvido interno.

Implante neural Um implante cerebral que amplia a capacidade sensorial, a memória ou a inteligência de uma pessoa. Implantes neurais se tornarão ubíquos no século XXI.

Improvisador Programa de computador que cria música original, escrito por Paul Hodgson, saxofonista de jazz britânico. O Improvisador pode emular estilos que variam de Bach aos monstros sagrados do jazz, como Louis Armstrong e Charlie Parker.

Independência do falante Refere-se à capacidade de um sistema de reconhecimento de fala para compreender qualquer falante, independente de se o sistema anteriormente coletou ou não uma amostra da fala daquele falante.

Informação Uma sequência de dados que têm significado em um processo, como o código do DNA de um organismo ou os bits em um programa de computador. A informação é contrastada com “ruído”, que é a sequência aleatória. Entretanto, nem ruído nem informação são previsíveis. O ruído é inerentemente imprevisível, mas não carrega informação. A informação também é imprevisível; isto é, não podemos prever informações futuras a partir de informações passadas. Se conseguirmos prever inteiramente dados futuros a partir de dados passados, então esses dados futuros deixam de ser informação.

Inteligência A capacidade de utilizar recursos limitados de forma ideal incluindo o tempo para atingir um conjunto de metas (que podem incluir sobrevivência, comunicação, resolução de problemas, reconhecimento de padrões, execução de habilidades). Os produtos da inteligência podem ser inteligentes, engenhosos, perceptivos ou elegantes. R. W. Young define inteligência como “aquela faculdade da mente pela qual a ordem é percebida em uma situação anteriormente considerada desordenada”.

Inteligência Artificial (IA) A área de pesquisa que tenta emular a inteligência humana em uma máquina. As áreas dentro da IA incluem sistemas baseados em conhecimento, sistemas especialistas, reconhecimento de padrões, aprendizado automático, compreensão da linguagem natural, robótica e outras.

Interface háptica Em sistemas de realidade virtual, os atuadores físicos que oferecem ao usuário uma sensação de toque (incluindo a sensação de pressão e

temperatura).

lho da curva O período no qual a natureza exponencial da curva do tempo começa a explodir. O crescimento exponencial permanece sem crescimento aparente por um longo período de tempo e, em seguida, parece sofrer uma erupção súbita. Isto está ocorrendo agora na capacidade dos computadores.

gislação do avô A partir de 2099, a legislação que protege os direitos dos SHUMOs (Substratos Humanos Majoritariamente Originais) e reconhece as raízes dos seres do século XXI. *Veja SHUMO.*

de Moore Primeiramente postulada pelo ex-presidente da Intel, Gordon Moore, em meados dos anos 1960, a Lei de Moore é a previsão de que o tamanho de cada chip de circuito integrado será reduzido em 50% a cada 24 meses. O resultado é o poder em crescimento exponencial da computação com base em circuitos integrados ao longo do tempo. A Lei de Moore duplica o número de componentes em um chip, assim como a velocidade de cada componente. Estes aspectos duplicam o poder da computação, para um eficiente quadruplicamento do poder da computação a cada 24 meses.

dos Retornos Acelerados A medida que a ordem aumenta exponencialmente, o tempo acelera exponencialmente (por exemplo: o intervalo de tempo entre eventos relevantes vai ficando menor com o passar do tempo).

do Caos Crescente Á medida que o caos aumenta exponencialmente, o tempo reduz exponencialmente sua velocidade (por exemplo: o intervalo de tempo entre eventos relevantes vai ficando maior com o passar do tempo).

do Tempo e do Caos Em um processo, o intervalo de tempo entre eventos relevantes (por exemplo: eventos que modificam a natureza do processo, ou afetam de modo significativo o futuro do processo) se expande ou contrai juntamente com a quantidade de caos.

s da Termodinâmica As leis da termodinâmica governam como e por que a energia é transferida.

A primeira lei da termodinâmica (postulada por Hermann von Helmholtz, em 1847), também chamada de Lei da Conservação de Energia, afirma que a quantidade total de energia no Universo é constante. Um processo pode modificar a forma de energia, mas um sistema fechado não perde energia. Podemos utilizar esse conhecimento para determinar a quantidade de energia em um sistema, a quantidade perdida como calor desperdiçado e a eficiência do sistema.

A segunda lei da termodinâmica (articulada por Rudolf Clausius, em 1850), também conhecida como a Lei da Entropia Crescente, afirma que a entropia (desordem de partículas) no Universo nunca diminui. A medida que a desordem no Universo aumenta, a energia é transformada em formas menos utilizáveis.

Logo, a eficiência de qualquer processo sempre será menor que 100%.

A terceira lei da termodinâmica (descrita por Walter Hermann Nernst, em 1906, com base na ideia de uma temperatura de zero absoluto, primeiramente articulada pelo Barão Kelvin em 1848), também conhecida como a Lei do Zero Absoluto, nos diz que todo o movimento molecular para a uma temperatura chamada de zero absoluto, ou 0 Kelvin (-273°C). Como a temperatura é uma medida do movimento molecular, a temperatura de zero absoluto pode ser aproximada, mas jamais atingida.

nbrem-se de York, movimento Na segunda década do século XXI, um grupo de discussão neoludita na Web. O grupo foi assim batizado para comemorar o julgamento de 1813, em York, Inglaterra, durante o qual vários luditas que destruíram maquinário industrial foram enforcados, presos ou exilados.

ites auditivas de realidade virtual Em 2019, dispositivos sônicos que projetam sons de alta resolução colocados precisamente no ambiente virtual tridimensional. Estes podem ser embutidos em óculos, vestidos como joias corporais ou implantados.

ites ópticas de realidade virtual Em 2009, displays tridimensionais embutidos em óculos ou lentes de contato. Esses displays “direto no olho” criam ambientes visuais virtuais altamente realistas em sobreposição ao ambiente “real”. Esta tecnologia de display projeta imagens diretamente sobre a retina humana, excede a resolução da visão humana, e é amplamente utilizada, independentemente de deficiências visuais. Em 1998, o Microvision Virtual Retina Display oferece um recurso semelhante para pilotos militares, com versões para o mercado consumidor já sendo planejadas na época.

guagem natural Linguagem conforme falada ou escrita por humanos utilizando uma linguagem humana como o inglês (em contraste com a sintaxe rígida de uma linguagem de computador). A linguagem natural é governada por regras e convenções suficientemente complexas e sutis para existir uma ambiguidade frequente na sintaxe e no sentido.

IP (List processing) Linguagem de computador interpretativa, desenvolvida no final dos anos 1950, no MIT, por John McCarthy, utilizada para manipular sequências simbólicas de instruções e dados. A principal estrutura de dados é a lista, uma sequência ordenada finita de símbolos. Como um programa escrito em LISP é expresso como uma lista de listas, o LISP se presta à recursão sofisticada, à manipulação de símbolos e código automodificador. Ele é muito utilizado para programação de IA, embora seja menos popular do que foi nos anos 1970 e 1980.

re-arbítrio Comportamento com objetivo e tomada de decisões. Desde os tempos de Platão, os filósofos têm explorado o paradoxo do livre-arbítrio,

particularmente conforme aplicado a máquinas. Durante o próximo século, uma questão importante será se as máquinas irão evoluir e se transformar em seres com consciência e livre-arbítrio. Uma questão filosófica básica é como o livre-arbítrio é possível se os eventos são o resultado de uma interação previsível ou imprevisível de partículas. Considerar a interação de partículas como sendo imprevisível não resolve o paradoxo do livre-arbítrio, pois não há nada de proposital num comportamento aleatório.

lita Membro de um grupo de operários ingleses do começo do século XIX que destruíam máquinas que poupavam trabalho em sinal de protesto. O luditismo foi o primeiro movimento organizado a se opor à tecnologia mecanizada da Revolução Industrial. Hoje, os luditas são um símbolo de oposição à tecnologia.

nifesto de Florence, Brigada do Em 2029, um grupo neoludita que se baseia no “Manifesto de Florence”, escrito por Theodore Kaczynski na prisão. Membros da brigada de protesto contra a tecnologia basicamente através de meios não violentos.

quina Analítica O primeiro computador programável, criado na década de 1840 por Charles Babbage e Ada Lovelace. A Máquina Analítica tinha uma memória de acesso aleatório (RAM) que consistia de mil palavras de 50 dígitos decimais cada, uma unidade de processamento central, uma unidade especial de armazenamento para software e uma impressora. Embora antecederesse os computadores modernos, a invenção de Babbage jamais funcionou.

quina de leitura Uma máquina que escaneia texto e o lê em voz alta. Inicialmente desenvolvida para pessoas com problemas de visão, as máquinas de leitura estão sendo usadas atualmente por qualquer pessoa que não consegue ler em seu nível intelectual, incluindo os que têm problemas de leitura (p. ex: disléxicos) e crianças que estão começando a aprender a ler.

quina de Turing Um simples modelo abstrato de uma máquina de computação, projetado por Alan Turing em seu artigo, de 1936, “On computable numbers”. A máquina de Turing é um conceito fundamental na teoria da computação.

cânica quântica Uma teoria que descreve as interações das partículas subatômicas, combinando diversas descobertas básicas. Entre elas está a observação feita por Max Planck, em 1900, de que a energia é absorvida ou irradiada em quantidades discretas, chamadas quanta. E também o princípio da incerteza, postulado por Werner Heisenberg, em 1927, afirmando que não podemos saber ao mesmo tempo a posição exata e o momentum exato de um elétron ou de outra partícula ao mesmo tempo. Interpretações da teoria quântica implicam que fótons simultaneamente tomam todos os caminhos possíveis (p. ex: quando eles batem no espelho e resvalam). Alguns caminhos cancelam uns aos outros. A ambiguidade que permanece no caminho na verdade tomado é

resolvida com base na observação consciente de um observador.

nte complicada, escola da O uso de procedimentos sofisticados para avaliar as folhas terminais em um algoritmo recursivo.

nte simples, escola da O uso de procedimentos simples para avaliar as folhas terminais de um algoritmo recursivo. Por exemplo, no contexto de um programa de xadrez, a adição de valores às peças.

nte-corpo, problema A questão filosófica: como a entidade não física da mente emerge da entidade física do cérebro? Como os sentimentos e outras Experiências subjetivas resultam do processamento do cérebro físico? Por extensão, será que as máquinas que emulam os processos do cérebro humano têm Experiências subjetivas? Além disso, como a entidade não física da mente exerce controle sobre a realidade física do corpo?

croprocessador Um circuito integrado construído em um único chip, contendo toda a unidade de processamento central (CPU) de um computador.

lhões de Instruções por Segundo (MIPS) [*Millions of Instructions per Second*] Um método de medir a velocidade de um computador em termos do número de milhões de instruções executadas pelo computador em um segundo. Uma instrução é uma única etapa em um programa de computador, conforme representada na linguagem de máquina do computador.

nimax, procedimento ou teorema Uma técnica básica utilizada em programas de games. Uma árvore expansível de movimentos e contramovimentos possíveis (movimentos do oponente) é construída. Uma avaliação das últimas “folhas” da árvore que minimiza a capacidade do oponente em vencer e maximiza a habilidade do programa em vencer é então passada de volta pelos ramos da árvore.

PS *Veja* Milhões de Instruções por Segundo.

torista cibernético Carros que se autodirigem e usam sensores especiais nas estradas. Carros que se autodirigem começaram a ser experimentados no final da década de 1990, com implementação, em grandes rodovias, viável durante a primeira década do século XXI.

¶I *Veja* imagem por ressonância magnética.

sica Gerada pelo Cérebro (BGM) [*Brain Generated Music*] Uma tecnologia musical criada pela NeuroSonics, Inc., que cria música em resposta às ondas cerebrais do ouvinte. Esse sistema de biofeedback parece evocar a Reação de Relaxamento, incentivando a geração de ondas alfa no cérebro.

¿CIN Um sistema especialista bem-sucedido, desenvolvido na Stanford University em meados da década de 1970, projetado para auxiliar médicos a prescreverem um antibiótico adequado, determinando a identidade exata de uma

infecção sanguínea.

nanobô Um nanorobô (robô construído usando nanotecnologia). Um nanobô auto-replicante requer mobilidade, inteligência e a capacidade de manipular seu ambiente. Ele também precisa saber quando impedir sua própria replicação. Em 2029, nanobôs irão circular pela corrente sanguínea do corpo humano para diagnosticar doenças.

nanobôs, enxame de Na última metade do século XXI, um enxame composto por trilhões de nanobôs. Os enxames de nanobôs podem assumir rapidamente qualquer forma. Um enxame de nanobôs pode projetar imagens visuais, sons e contornos de pressão de qualquer conjunto de objetos, incluindo pessoas. Os enxames de nanobôs também podem combinar suas capacidades computacionais para emular a inteligência de pessoas e outras entidades e processos inteligentes. Um enxame de nanobôs traz efetivamente a capacidade de criar ambientes virtuais para o ambiente real.

nanotecnologia O design e fabricação de produtos e outros objetos com base na manipulação de átomos e moléculas; construir máquinas átomo por átomo. “Nano” significa um bilionésimo de metro, que é a extensão de cinco átomos de carbono. *Veja* PicoEngenharia; FemtoEngenharia.

nanopatógeno Um nanobô auto-replicante que replica excessivamente, possivelmente sem limite, provocando destruição tanto à matéria orgânica quanto à inorgânica.

nanopatrolha Em 2029, um nanobô na corrente sanguínea que efetua verificações no corpo à procura de patógenos biológicos e outros processos de doença.

nanotecnologia Um corpo de tecnologia no qual produtos e outros objetos são criados por intermédio da manipulação de átomos e moléculas. “Nano” significa um bilionésimo de metro, que é a extensão de cinco átomos de carbono.

nanotubos Moléculas de carbono alongadas que lembram tubos compridos e são formadas pelos mesmos padrões pentagonais de átomos de carbono que as buckyballs. Nanotubos podem realizar as funções eletrônicas de componentes de silício. Nanotubos são extremamente pequenos, fornecendo, portanto, densidades muito altas de computação. Nanotubos são uma tecnologia que provavelmente continuará a fornecer o crescimento exponencial de computação quando a Lei de Moore sobre circuitos integrados morrer, por volta do ano 2020. Nanotubos também são extremamente fortes e resistentes ao calor, permitindo, assim, a criação de circuitos tridimensionais.

neandertal *Veja Homo sapiens neanderthal (neanderthalensis).*

neurônio Célula processadora de informações do sistema nervoso central. Existem cerca de 100 bilhões de neurônios no cérebro humano.

problema górdio Um problema intrincado, praticamente impossível de solucionar. Uma

referência ao nó atado por Górdio, que seria desatado apenas pelo futuro governante da ÁsIA. Alexandre o Grande tangenciou o dilema de desatar o nó cortando-o ao meio com sua espada.

R (reconhecimento de caracteres ópticos) [*optical character recognition*] Um processo no qual uma máquina escaneia, reconhece e codifica caracteres impressos (e possivelmente escritos à mão) em forma digital.

Ordem Informação que serve a um objetivo. A medida de ordem é a medida da adequação com a qual a informação se encaixa no objetivo. Na evolução de formas de vida, o objetivo é sobreviver. Em um algoritmo evolucionário (um programa de computador que simula a evolução para solucionar um problema), o objetivo é solucionar o problema. Ter mais informações, ou mais complexidade, não resulta necessariamente em uma melhor adequação. Uma solução superior para um objetivo ordem maior pode exigir mais ou menos informação, e mais ou menos complexidade. Entretanto, a evolução já demonstrou que a tendência geral para uma ordem maior geralmente resulta em uma maior complexidade.

Órgão biônico Em 2029, órgãos artificiais que são construídos com o uso da nanoengenharia.

Paradigma Um padrão, modelo ou abordagem geral para resolver um problema.

Paradoxo de Russell A ambiguidade criada pela seguinte questão: um conjunto que é definido como “todos os conjuntos que não incluem a si mesmos” inclui a si mesmo como membro? O paradoxo de Russell motivou Bertrand Russell a criar uma nova teoria dos conjuntos.

Perceptron No final dos anos 1960 e 1970, uma máquina construída a partir de modelos matemáticos de neurônios humanos. Os primeiros Perceptrons foram modestamente bem-sucedidos em tarefas de reconhecimento de padrões, como identificar letras impressas e sons de fala. O Perceptron foi um antepassado das redes neurais contemporâneas.

Pessoa simulada Uma personalidade animada realista que incorpora um aspecto visual convincente e é capaz de se comunicar utilizando a linguagem natural. Por volta de 2019, uma pessoa simulada pode interagir com pessoas reais usando meios visuais, auditivos e táteis em um ambiente de realidade virtual.

PicoEngenharia Tecnologia em escala de picômetros (um trilionésimo de metro). A picoEngenharia envolverá Engenharia no nível de partículas subatômicas.

Pixel Abreviação de *picture element* (elemento de imagem). O menor elemento em uma tela de computador que contém informação para representar uma imagem. Pixels contêm dados que dão brilho e, possivelmente, cor a pontos particulares na imagem.

Programa cibernético Um programa de computador que é capaz de criar poesia original.

Ponto de Deus Um minúsculo ponto de células nervosas no lobo frontal do cérebro

que parece ser ativado durante as Experiências religiosas. Neurocientistas da Universidade da Califórnia descobriram o ponto de Deus enquanto estudavam pacientes epiléticos que têm Experiências místicas intensas durante ataques.

tal de imagem Em 2009, um display visual para ver pessoas e outras imagens em tempo real. No futuro, o portal projetará cenas tridimensionais em tempo real. O filho de Molly, Jeremy, usa um portal de imagem para ver o campus da Stanford University.

ativismo lógico Escola de pensamento filosófico do século XX, que foi inspirada pelo *Tractatus Logico-Philosophicus*, de Ludwig Wittgenstein. Segundo o positivismo lógico, todas as afirmações significativas podem ser confirmadas por observação e experimentação ou são “analíticas” (dedutíveis a partir de observações).

ço-desempenho Uma medida do desempenho de um produto por custo unitário.

tty Good Privacy (PGP) Um sistema de encriptação (projetado por Phil Zimmerman) distribuído na Internet e amplamente utilizado. O PGP utiliza uma chave pública que pode ser disseminada livremente e utilizada por qualquer pessoa para codificar uma mensagem e uma chave privada, que é guardada apenas pelo destinatário pretendido das mensagens codificadas. A chave privada é usada pelo destinatário para decodificar mensagens encriptadas usando a chave pública. Converter a chave pública em uma chave privada requer a fatoração de números grandes. Se o número de bits na chave pública for grande o suficiente, então os fatores não poderão ser computados em um tempo razoável, utilizando-se a computação convencional (e assim a informação codificada permanece segura). A computação quântica (com um número suficiente de qu-bits) destruiria esse tipo de encriptação.

ncípio do conhecimento Um princípio que enfatiza o importante papel desempenhado pelo conhecimento em muitas formas de atividade inteligente. Ele afirma que um sistema exibe inteligência, em parte devido ao conhecimento específico relevante à tarefa que contém.

cessamento de imagem-A manipulação de dados representando imagens ou representações pictóricas de uma tela, composta de pixels. O uso de um programa de computador para aprimorar ou modificar uma imagem.

cessamento paralelo Refere-se a computadores que utilizam vários processadores operando simultaneamente, em oposição a uma única unidade de processamento. (*Comparar com* computador serial.)

grama Um conjunto de instruções de computador que permite que um computador execute uma tarefa específica. Programas são normalmente escritos em uma linguagem de alto nível, como C ou FORTRAN, que podem ser compreendidos por programadores humanos e, depois, traduzidos para

linguagem de máquina através de um programa especial chamado compilador. A linguagem de máquina é um conjunto especial de códigos que controlam um computador diretamente.

rogramação genética O método de criar um programa de computador utilizando algoritmos genéticos ou evolucionários. *Veja* Algoritmo evolucionário; Algoritmo genético.

projeto Genoma Humano Programa de pesquisa internacional com o objetivo de montar uma biblioteca de mapas genômicos e informações de sequências de DNA, que fornecerão informações detalhadas sobre estrutura, organização e características do DNA de humanos e outros animais. O projeto começou em meados de 1980, e se espera que esteja completado por volta de 2005.

-bit Um “quantum bit”, utilizado em computação quântica. E ao mesmo tempo zero e um, até a desagregação quântica (observação direta ou indireta de um observador consciente) fazer com que cada bit quântico se desambigue em um estado de zero ou um. Um qu-bit armazena dois números possíveis (zero e um) ao mesmo tempo. N qu-bits armazenam 2^N possíveis números ao mesmo tempo. Logo, um computador quântico de N qu-bit tentaria 2^N possíveis soluções para um problema simultaneamente, o que dá ao computador quântico seu enorme poder potencial.

ímica A composição e as propriedades de substâncias compostas de moléculas.

M (memória de acesso aleatório) [*random access memory*] Memória que pode ser, ao mesmo tempo, lida e escrita com posições de acesso aleatório de memória. Acesso aleatório significa que as posições podem ser acessadas em qualquer ordem e não precisam ser acessadas simultaneamente. A RAM pode ser usada como a memória de trabalho de um computador, no qual aplicações e programas podem ser carregados e executados.

ação de relaxamento Um mecanismo neurológico descoberto pelo dr. Herbert Benson e outros pesquisadores na, Harvard Medical School e no Beth Israel Hospital, de Boston. O oposto da reação de estresse ou “fight ou flight” (lutar ou fugir), a Reação de Relaxamento está associada a níveis reduzidos de epinefrina (adrenalina) e norepinefrina (noradrenalina), pressão sanguínea, açúcar no sangue, taxa de respiração e cardíaca.

alidade virtual Um ambiente simulado no qual você pode imergir. Um ambiente de realidade virtual oferece uma substituição convincente para os sentidos da visão e da audição, e (por volta de 2019) o sentido do tato. Em décadas posteriores, o sentido do olfato também será incluído. A chave para uma Experiência visual realista na realidade virtual é que, quando você move sua cabeça, a cena instantaneamente se reposiciona para que você esteja agora olhando para uma região diferente de um cenário tridimensional. A intenção é

simular o que acontece quando você vira sua cabeça real no mundo real: as imagens capturadas por suas retinas mudam rapidamente. Mesmo assim, seu cérebro compreende que o mundo permaneceu estacionário e que a imagem está deslizando ao longo de suas retinas somente porque sua cabeça está fazendo uma rotação. Inicialmente, a realidade virtual (incluindo sistemas contemporâneos toscos) exige o uso de capacetes especiais para oferecer os ambientes visual e auditivo. Por volta de 2019, a realidade virtual será oferecida por sistemas com base em lentes de contato ubíquas e dispositivos de projeção de imagem na retina implantados (bem como dispositivos comparáveis para “imagens” auditivas). Mais para o fim do século XXI, a realidade virtual (que incluirá todos os sentidos) será fornecida pela estimulação direta dos caminhos nervosos, usando implantes neurais.

reconhecimento de fala contínua (CSR) [*continuous speech recognition*] Um programa de software que reconhece e registra a linguagem natural.

reconhecimento de padrões Reconhecimento de padrões com o objetivo de identificar, classificar ou categorizar inputs complexos. Exemplos de inputs incluem imagens como caracteres impressos e rostos, e sons como a linguagem falada.

reconhecimento automático de fala (ASR) [*automatic speech recognition*] Software que reconhece a fala humana. Em geral, os sistemas de ASR incluem a capacidade de extrair padrões de alto nível nos dados da fala.

recursão O processo de definir ou expressar uma função ou procedimento em termos de si mesma. Normalmente, cada iteração de um procedimento de solução recursiva produz uma versão mais simples (ou possivelmente menor) do problema que a iteração anterior. Este processo continua até um subproblema cuja resposta já seja conhecida (ou que possa ser prontamente computado sem recursão). Um número surpreendentemente grande de problemas simbólicos e numéricos se presta a formulações recursivas. A recursão é normalmente usada por programas de jogos, como o programa de xadrez Deep Blue.

rede neural Uma simulação, em computador, dos neurônios humanos. Um sistema (implementado em software ou hardware) criado para emular a estrutura de computação dos neurônios no cérebro humano.

redes neurais maciçamente paralelas Uma rede neural construída a partir de muitas unidades de processamento paralelo. Geralmente, um computador especializado e separado implementa cada modelo de neurônio.

relatividade Uma teoria baseada em dois postulados: (1) que a velocidade da luz no vácuo é constante e independente da fonte ou do observador, e (2) que as formas matemáticas das leis da física são invariantes em todos os sistemas inerciais. Entre as implicações da teoria da relatividade estão a equivalência de massa e

energia e da mudança na massa, dimensão e tempo com velocidade cada vez maior. *Veja também* Teoria da Relatividade de Einstein.

apresentação do conhecimento Um sistema para organizar o conhecimento humano em um domínio, em uma estrutura de dados flexível o suficiente para permitir a expressão de fatos, regras e relações.

Revolução Industrial O período da história, em fins do século XVIII e século XIX, marcado por uma aceleração no desenvolvimento tecnológico, que permitiu a produção em massa de artigos e materiais.

Colossus O primeiro computador operacional do mundo, construído a partir de relés telefônicos e batizado com o nome de um cartunista famoso que desenhava máquinas tipo “Rube Goldberg” (máquinas muito ornamentadas com muitos mecanismos de interação). Durante a Segunda Guerra Mundial, Robinson forneceu aos britânicos uma transcrição de quase todas as mensagens codificadas nazistas significativas, até ser substituído por Colossus. *Veja* Colossus.

robô Um dispositivo programável, ligado a um computador, consistindo de manipuladores e sensores mecânicos. Um robô pode executar uma tarefa física que normalmente é realizada por seres humanos, possivelmente com mais velocidade, força e/ou precisão.

robótica A ciência e tecnologia de projetar e fabricar robôs. A robótica combina inteligência artificial e Engenharia mecânica.

ROM (Read-Only Memory) Uma forma de armazenamento de computador que pode ser lida, mas não escrita nem deletada (p. ex: CD-ROM).

ruído Uma sequência aleatória de dados. Como a sequência é aleatória e sem sentido, o ruído não carrega informação. Oposto à informação.

Santo Graal Qualquer objetivo de uma jornada longa e difícil. No folclore medieval, o Graal se refere à taça usada por Cristo na Última Ceia. Subsequentemente, o Santo Graal se tornou o objeto das peregrinações dos cavaleiros medievais.

escaneamento destrutivo O processo de escanear o cérebro e o sistema neural de uma pessoa ao mesmo tempo em que ele é destruído, com o propósito de substituí-lo por circuitos eletrônicos de capacidade, velocidade e confiabilidade bem maiores.

Segunda Lei da Termodinâmica Também conhecida como a Lei da Entropia Crescente, esta lei afirma que a desordem (quantidade de movimento aleatório) de partículas no Universo pode aumentar, mas nunca diminuir. A medida que a desordem no Universo aumenta, a energia é transformada em formas menos utilizáveis. Logo, a eficiência de qualquer processo será sempre menor que 100% (daí a impossibilidade de máquinas de movimento perpétuo).

Segunda Revolução Industrial A automação de tarefas mentais, em vez de físicas.

Semicondutor Um material comumente utilizado, com base em silício ou germânio, com um meio de condutividade entre o de um bom condutor e um isolador.

Semicondutores são usados para fabricar transistores. Semicondutores confiam no fenômeno do tunelamento. *Veja* Tunelamento.

iso comum A capacidade de analisar uma situação com base em seu contexto, utilizando milhões de peças integradas de conhecimento comum. Atualmente, os computadores não possuem senso comum. Citando Marvin Minsky: “O Deep Blue pode ser capaz de vencer no xadrez, mas não saberIA sair da chuva”.

itorium Em 2019, o nome de marca de um ambiente de realidade virtual de toque total, que fornece um ambiente tátil inteiramente abrangente.

co virtual Sexo na realidade virtual que incorpora um ambiente visual, auditivo e tátil. O parceiro sexual pode ser uma pessoa real ou simulada.

umismo Em 2099, um termo arcaico que está enraizado no modo de vida dos SHUMOs, antes do advento de humanos aprimorados através de implantes neurais e o transporte de cérebros humanos para novos substratos computacionais. Um exemplo de shumismo: a palavra *artigos* se refere a estruturas de conhecimento que representam um corpo de trabalho intelectual.

UMO Em 2099, uma sigla que significa Substrato Humano Majoritariamente Original. Na última metade do século XXI, um ser humano que ainda utiliza neurônios com base em carbono, sem aprimoramentos por intermédio de implantes neurais, é chamado de SHUMO. Em 2099, Molly se refere ao autor como sendo um SHUMO.

UMO, arte Em 2099, a arte (normalmente criada por humanos aprimorados) que um SHUMO é teoricamente capaz de apreciar, embora a arte SHUMO nem sempre seja compartilhada com um SHUMO.

UMO, música Em 2099, arte SHUMO na forma de música.

ulador Um programa que modela e representa uma atividade ou ambiente em um sistema de computador. Exemplos incluem a simulação de interação química e fluxo de fluidos. Outros exemplos incluem um simulador de voo utilizado para treinar pilotos e um paciente simulado para treinar médicos. Simuladores também são usados com frequência para entretenimento.

etizador Dispositivo que computa sinais em tempo real. No contexto da música, um dispositivo (normalmente com base em computador) que cria e gera sons e música eletronicamente.

tema de missão crítica Um programa de software que controla um processo do qual as pessoas são fortemente dependentes. Exemplos de software de missão crítica incluem sistemas de suporte de vida, equipamento cirúrgico automatizado, sistemas de voo e pouso em piloto automático, e outros sistemas baseados em software que afetem o bem-estar de uma pessoa ou de uma organização.

tema especialista Um programa de computador, baseado em diversas técnicas de

inteligência artificial, que soluciona um problema utilizando Um banco de dados de conhecimento especializado sobre determinado assunto. Também um sistema que permite que um banco de dados desse tipo se torne disponível para o usuário não especialista. Um ramo do campo da inteligência artificial.

tema fechado Interação de entidades e forças que não estão sujeitas a influências externas (por exemplo, o Universo). Um corolário da segunda lei da termodinâmica é que, em um sistema fechado, a entropia aumenta.

tema operacional Um programa de software que gerencia e fornece uma série de serviços para aplicativos, incluindo instalações de interface com usuário e gerenciamento de input-output e dispositivos de memória.

riedade da mente Uma teoria da mente, proposta por Marvin Minsky, em que a inteligência é vista como sendo o resultado de uma organização adequada de um grande número (uma sociedade) de outras mentes, que, por sua vez, são compreendidas por outras mentes simples. Na base dessa hierarquia estão mecanismos simples, cada qual por sua vez sem inteligência.

ftware Informação e conhecimento utilizados para executar funções úteis por computadores e dispositivos computadorizados. Inclui programas de computador e seus dados, mas inclui, também, de modo mais geral, produtos de conhecimento, como livros, música, imagens, filmes e vídeos.

ftware, evolução baseada em Simulação do processo evolucionário em software. Um exemplo de evolução baseada em software é a NetWork Tierra, projetada por Thomas Ray. As “criaturas” de Ray são simulações de organismos em software nas quais cada “célula” tem seu próprio código genético tipo DNA. Os organismos competem uns com os outros pelo espaço simulado limitado e pelos recursos energéticos de seu ambiente simulado.

strato Meio de computação ou circuitos. *Veja* Meio de computação.

ercomputador O computador mais rápido e mais poderoso existente a qualquer momento determinado. Supercomputadores são utilizados para computações que exijam alta velocidade e armazenamento (por exemplo: análise de dados do tempo).

ercondutividade O fenômeno físico pelo qual alguns materiais exibem resistência elétrica zero a temperaturas baixas. A supercondutividade aponta para a possibilidade de grande poder computacional com pouca ou nenhuma dissipação de calor (um fator limitador hoje em dia). A dissipação de calor é um dos grandes motivos pelos quais os circuitos tridimensionais são difíceis de criar.

nologia Um processo evolutivo de criação de ferramentas para dar forma e controlar o ambiente. Tecnologia não é apenas mera formatação e uso de ferramentas. Ela envolve um registro da fabricação de ferramentas e uma progressão na sofisticação de ferramentas. Ela requer invenção e é, em si

mesma, uma continuação da evolução por outros meios. O “código genético” do processo evolucionário da tecnologia é a base de conhecimento mantida pela espécie fabricante de tecnologia.

efone tradutor Um telefone que fornece tradução de fala em tempo real de uma linguagem humana para outra.

idência exponencial Qualquer tendência que exiba crescimento exponencial (como uma tendência exponencial no crescimento populacional).

rema da Incompletude, de Gödel Um teorema postulado por Kurt Gödel, matemático tcheco, que declara que, em um sistema matemático poderoso o suficiente para gerar os números naturais, existem inevitavelmente proposições que não podem ser provadas nem refutadas.

ria da Informação Uma teoria matemática relacionada à diferença entre informação e ruído, e a capacidade de um canal de comunicações em transportar informações.

ria da Relatividade, de Einstein Refere-se a duas das teorias de Einstein. A Teoria Especial da Relatividade postula que a velocidade da luz é a velocidade mais rápida na qual podemos transmitir informações. A Teoria Geral da Relatividade lida com os efeitos da gravidade na geometria do espaço. Inclui a fórmula $E=mc^2$ (energia é igual à massa multiplicada pela velocidade da luz ao quadrado), que é a base da força nuclear.

ria do Caos O estudo de padrões e comportamentos emergentes em sistemas complexos compostos por muitos elementos imprevisíveis (por exemplo, o tempo).

te de Turing Procedimento proposto por Alan Turing, em 1950, para determinar se um sistema (geralmente um computador) atingiu ou não inteligência de nível humano, com base em se ele consegue enganar um interrogador humano e fazê-lo acreditar que ele também é humano. Um “juiz” humano entrevista o sistema (computador), e uma ou mais “iscas” humanas trabalham em linhas terminais (digitando mensagens). Tanto o computador quanto a isca humana tentam convencer o juiz de sua humanidade. Se o juiz humano não for capaz de distinguir o computador da isca humana, então o computador é considerado como tendo demonstrado inteligência de nível humano. Turing não especificou muitos detalhes fundamentais, como a duração da interrogação e a sofisticação do juiz e das iscas humanas. Por volta de 2029, os computadores começarão a passar no teste, embora a validade do teste ainda permaneça uma questão de controvérsia e debate filosófico.

que total, ambiente de Em 2019, um ambiente de realidade virtual que fornece um ambiente tátil inteiramente abrangente.

nsistor Um dispositivo de chaveamento e/ou amplificação utilizando

semicondutores, originalmente criado em 1948, por John Bardeen, Walter Brattain e William Shockley, da Bell Labs.

nelamento Na mecânica quântica, a capacidade que os elétrons (partículas de carga negativa que orbitam o núcleo de um átomo) têm de existir em dois lugares ao mesmo tempo, em particular em ambos os lados de uma barreira. O tunelamento permite que alguns dos elétrons se movam efetivamente através da barreira; é o responsável pelas propriedades “semi” condutoras de um transistor.

lity fog Um espaço repleto de Foglets. No final do século XXI, o utility fog pode ser utilizado para simular qualquer ambiente, essencialmente fornecendo à realidade “real” as capacidades de modificação do ambiente da realidade virtual. *Veja* Projeção de enxame de neblina; Foglet.

e do Silício A região da Califórnia, ao sul de São Francisco, que é um centro de inovação em alta tecnologia, incluindo o desenvolvimento de software, comunicações, circuitos integrados e tecnologias relacionadas.

lvula a vácuo A mais antiga forma de uma chave (ou amplificador) eletrônica com base em recipientes de vidro cheios de vácuo. Utilizadas em rádios e outros equipamentos de comunicação e nos primeiros computadores; substituído pelo transistor.

nture capital Refere-se aos fundos disponíveis para investimento de organizações que tenham levantando pools de capital especificamente para investir em empresas, primariamente novos empreendimentos.

la A capacidade que entidades (normalmente organismos) possuem de se reproduzir em futuras gerações. Padrões de matéria e energia que podem se perpetuar e sobreviver.

la artificial Organismos simulados, cada qual incluindo um conjunto de regras de comportamento e reprodução (um “código genético” simulado) e um ambiente simulado. Os organismos simulados simulam múltiplas gerações de evolução. O termo pode se referir a qualquer padrão auto-replicante.

tualismo tátil Por volta de 2029, uma tecnologia que permite que uma pessoa utilize um corpo virtual para desfrutar de Experiências de realidade virtual sem equipamento de realidade virtual além do uso de implantes neurais (que incluem comunicação wireless com banda larga). Os implantes neurais criam o padrão de sinais nervosos que correspondem a uma Experiência “real” comparável.

rld Wide Web (WWW) Uma rede de comunicação altamente distribuída (não centralizada) que permite que indivíduos e organizações, em todo o mundo, se comuniquem uns com os outros. A comunicação inclui o compartilhamento de texto, imagens, sons, vídeos, software e outras formas de informação. O paradigma da interface primária de usuário da “web” é baseado em hipertexto, que consiste de documentos (que podem conter qualquer tipo de dados)

conectados por links, que o usuário seleciona por intermédio de um dispositivo de ponteiro como um mouse. A Web é um sistema de servidores de dados e mensagens ligados por links de comunicação de alta capacidade, que podem ser acessados por qualquer computador com um “navegador de web” e acesso à Internet. Com a introdução do Windows 98, o acesso à Web é embutido no sistema operacional. Por volta do fim do século XXI, a Web fornecerá o meio computacional distribuído para humanos baseados em software.

K (o problema do ano 2000) Refere-se a dificuldades antecipadas provocadas por software (normalmente desenvolvidos várias décadas antes do ano 2000) no qual os campos de data utilizavam apenas dois dígitos. A menos que o software seja ajustado, isso fará com que os programas de computador se comportem de modo errático quando o ano se tornar “00”. Esses programas confundirão o ano 2000 com 1900.

NOTAS

PRÓLOGO: UMA EMERGÊNCIA INEXORÁVEL

1. Minha recordação desse episódio de *Além da Imaginação* [*The Twilight Zone*] é essencialmente acurada, embora o jogador seja um criminoso de terceira classe, chamado Rocky Valentine. Episódio 28: *A Nice Place to Visit* [Belo lugar para se visitar] só fiquei sabendo do nome do episódio depois que eu já tinha escrito o Prólogo levado ao ar durante a primeira temporada de *Além da Imaginação*, a 15 de abril de 1960.

O episódio começa com a voz de um narrador descrevendo a cena: “Retrato de um homem em seu trabalho, o único trabalho que ele jamais realizou, o único trabalho que ele é capaz de fazer. Seu nome é Henry Francis Valentine, mas ele se auto-apelidou Rocky, porque foi assim que se passou sua vida pedregosa, cheia de perigos, correndo o tempo todo ladeira acima para não ser deixado para trás...”.

Ao assaltar uma loja de penhores, Valentine é alvejado e morto por um policial. Quando acorda, encontra-se com seu guIA para a vida do além, que se apresenta como Pip. Pip explica que pode dar a Valentine qualquer coisa que ele possa desejar. Valentine fica cheio de suspeitas, mas pede e recebe um milhão de dólares e uma linda garota. A seguir, ele começa uma onda de jogatina, vencendo na roleta, nas máquinas caça-níqueis e, mais tarde, em jogos de bilhar. Também é cercado por mulheres lindas, que lhe dispensam toda espécie de atenções.

Eventualmente, Valentine se cansa de jogar e ganhar sempre e de conquistar tantas mulheres lindas. Ele diz a Pip que ganhar sempre é aborrecido e que seu lugar não é no céu. Então, pede a Pip que o leve para o “Outro Lugar”. Com um brilho malicioso no olhar, Pip lhe responde: “Acontece que este já é o Outro Lugar!...” A sinopse deste episódio foi adaptada do roteiro de Marc Scott Zicree, *The Twilight Zone Companion* (Toronto, Canadá, Bantam Books, 1982, 113-115).

2. Quais foram as principais questões políticas e filosóficas do século XX? Uma era ideológica os sistemas totalitários da direita (fascismo) e da esquerda (comunismo) foram confrontados e, em grande parte, derrotados pelo capitalismo (embora com grande inchaço da máquina governamental) e pela democracia. A outra foi o crescimento da tecnologia, que começou a ser sentida no século XIX, mas se tornou uma das forças principais do século XX. Mas a questão de “o que constitui um ser humano” ainda não desperta uma discussão

importante (salvo no que se refere ao debate sobre o aborto), embora o século XIX realmente ainda testemunhasse a continuação da luta pela inclusão de todos os membros da espécie na condição de merecedores de certo número de direitos.

3. Para um excelente estudo abrangente e detalhes técnicos sobre o reconhecimento dos padrões das redes neurais, veja a página da rede The Neural NetWork Frequently Asked Questions, editada por W. S. Sarle, que pode ser acessada no endereço <ftp://ftp.sas.com/pub/natural/FAQ.html>. Além disto, existe um artigo de Charles Arthur, intitulado “Computers Learn to See and Smell Us”, publicado na *Independent*, a 16 de janeiro de 1996, em que o autor descreve a habilidade das redes neurais diferenciarem as características individuais.

4. Conforme será discutido no Capítulo 6, Construindo Novos Cérebros, a varredura destrutiva se tornará possível logo no início do século XXI. As varreduras não invasivas com resolução e largura de banda suficientes levarão algum tempo mais para se tornarem disponíveis, mas já se terão tornado práticas pelo final da primeira metade do século XXI.

CAPÍTULO 1: A LEI DO TEMPO E DO CAOS

1. Para encontrar referências detalhadas e uma visão geral abrangente sobre a grande explosão e a origem do universo, veja *Introduction to Big Bang Theory*, publicado pelo Departamento de Física e Astronomia do Bowdoin College e disponível em formato eletrônico em <http://bowdoin.edu/dept/physics/astro.1997/astro4/bigbang.html>.

Fontes impressas em forma física sobre a teoria do Big Bang incluem: Joseph Silk, *The Big Bang* (San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1980); Robert M. Wald, *Space, Time and Gravity* (Chicago: The University of Chicago Press, 1977); e Stephen W. Hawking, *A Brief History of Time* (New York, Bantam Books, 1988) [*Uma Breve História do Tempo*. 8. ed. Rio de Janeiro: Rocco, 1988].

2. A “força forte” é aquela que conserva unidos os núcleos atômicos. É chamada “forte” porque precisa superar a poderosa força de repulsão entre os prótons de um núcleo que possui mais que um único próton.

3. A força eletrofraca combina o eletromagnetismo e a “força fraca” responsável pela degradação beta. Em 1968, o físico norte-americano Steven Weinberg e o físico paquistanês Abdus Salam alcançaram sucesso em sua tentativa de unificação da força fraca e da força eletromagnética, através da utilização de um método matemático, denominado “simetria de escala” [*gauge symmetry*].

4. A “força fraca” é responsável pela forma de desintegração atômica radioativa.

denominada “degradação beta” e por outros processos nucleares lentos que ocorrem de forma gradual.

5. EINSTEIN, Albert. *Relativity: the special and the general theory*. New York: Crown, 1961

6. São as Leis da Termodinâmica que governam o como e o porquê da transferência de energia.

A primeira Lei da Termodinâmica (postulada por Hermann von Helmholtz, em 1847), também chamada de Lei da Conservação da Energia, declara que a quantidade total de energia presente no Universo é constante.

A segunda Lei da Termodinâmica (articulada por Rudolf Clausius, em 1850), também conhecida como a Lei da Entropia Crescente, declara que a entropia, ou desordem no Universo, nunca diminui (e, portanto, em geral aumenta). A medida que a desordem aumenta através do Universo, a energia vai sendo transformada em formas menos utilizáveis. Desse modo, a eficiência de qualquer processo será sempre menor do que cem por cento.

A terceira Lei da Termodinâmica (descrita por Walter Hermann Nernst, em 1906) é baseada na ideia de uma temperatura de zero absoluto. Inicialmente articulada pelo Barão Kelvin, em 1848) e também é conhecida como a Lei do Zero Absoluto, afirmando que todo o movimento molecular pára em uma temperatura chamada de “zero absoluto”. Ou 0° Kelvin (-273° centígrados). Uma vez que a temperatura é a medida do movimento molecular, a temperatura do zero absoluto pode ser aproximada, todavia jamais alcançada.

7. A página “Evolução e Comportamento”, em <http://ccp.uchicago.edu/~jyin/evolution.html> contém uma excelente coleção de artigos e links explorando as teorias da evolução. Fontes impressas incluem *The diversity of life*, da autoria de Edward O. Wilson (New York, W. W. Norton & Company, 1993) e *The book of life*, de Stephen Jay Gould (New York, W. W. Norton & Company, 1993).

8. Quatrocentos milhões de anos atrás, a vegetação se espalhou a partir dos pântanos dos baixios para originar as primeiras plantas enraizadas exclusivamente na terra firme. Foi este desenvolvimento que permitiu aos animais vertebrados herbívoros subirem para a terra firme, o que originou os primeiros anfíbios. Os artrópodes também subiram à terra firme juntamente com os anfíbios, alguns dos quais evoluíram e deram origem aos insetos. Cerca de 200 milhões de anos atrás, os dinossauros e mamíferos começaram a compartilhar o mesmo ambiente, embora os répteis dinossaurianos tivessem muito maior visibilidade. Em sua maioria, os pequenos mamíferos já então existentes procuravam manter-se fora do caminho dos dinossauros e muitos

deles desenvolveram hábitos exclusivamente noturnos.

9. Os mamíferos se tornaram dominantes no nicho da vida animal baseada em terra somente depois que os dinossauros foram majoritariamente extintos, há 65 milhões de anos. Os mamíferos compõem a classe mais intelectual, caracterizada pelo sangue quente, nutrição das crias via leite materno, pelos corporais, reprodução sexuada, quatro membros ou apêndices (na maioria dos casos) e, muito notavelmente, um sistema nervoso altamente desenvolvido.

10. Os primatas, que constituem a ordem mamífera mais avançada, se distinguem pela presença de olhos voltados para a frente, sendo, portanto, dotados de visão binocular ou tridimensional, grandes cérebros com um córtex aumentado por circunvoluções, o que permite faculdades de raciocínio mais desenvolvidas e padrões sociais mais complicados. Os primatas não foram os primeiros animais inteligentes, mas gozavam de uma característica adicional, que acabaria por conduzir à era da computação: o polegar em oposição. As duas qualidades necessárias para a subsequente emergência da tecnologia estavam agora se apresentando, isto é, tanto a inteligência, como a capacidade de manipulação do ambiente. Não é por coincidência que os dedos são chamados de dígitos. A origem da palavra “dígito”, como é utilizada no inglês moderno, mas que apareceu primeiro no inglês do final da Idade Média e início da Renascença, é a palavra latina *digitus*, que designa “dedo” ou “artelho”, talvez com a mesma ascendência remota do grego *deiknynai*, “indicar, mostrar”.

11. Cerca de 50 milhões de anos atrás, a subordem primata dos antropoides se dividiu. Ao contrário de seus primos, os pré-símios, os antropoides evoluíram rapidamente, dando origem a primatas avançados, como os micos e os macacos, há mais ou menos 30 milhões de anos. Estes primatas sofisticados se destacavam por habilidades sutis de comunicação, sendo capazes de empregar sons, gesticulação e expressões faciais, o que permitiu o desenvolvimento de grupos sociais intrincados. Já os primeiros humanoides emergiram há aproximadamente 15 milhões de anos. Embora desde o início fossem capazes de caminhar sobre as patas traseiras, empregavam os nós dos dedos das patas dianteiras para ocasionalmente conservar o equilíbrio.

12. Embora valha a pena mencionar que uma modificação de apenas dois por cento em um programa de computador possa demonstrar-se altamente significativa.

13. O *Homo sapiens* é a única espécie existente na Terra que é hoje capaz de criar tecnologia, mas não foi a primeira. Há cerca de 5 milhões de anos, o *Homo habilis* (isto é, o homem capaz de empregar as mãos criativamente) já demonstrava algumas habilidades manuais, sendo conhecido por seu cérebro

grande e postura ereta. Ele foi chamado de “habilidoso”, porque sabia confeccionar e empregar ferramentas. Nosso antepassado mais direto, o *Homo erectus*, surgiu na África há mais ou menos uns 2 milhões de anos. O *Homo erectus* foi também o responsável pelo avanço da tecnologia, incluindo a domesticação do fogo, o desenvolvimento da linguagem verbal e o emprego de armas.

14. A tecnologia emergiu nas brumas da história humanoide e não parou de acelerar seu desenvolvimento desde então. As tecnologias inventadas por outras espécies e subespécies humanoides incluíram o emprego regular do fogo, ferramentas de pedra, cerâmica, indumentária e outras formas de atender às necessidades humanas básicas. Os humanoides primitivos também iniciaram o desenvolvimento da linguagem, artes visuais, música e outros meios para comunicação humana.

Cerca de 10 mil anos atrás, começou a domesticação das plantas pelos seres humanos e, logo depois, de alguns animais. As tribos de caçadores nômades começaram a se estabelecer em determinados pontos, o que permitiu formas mais úteis de organização social. Foi iniciada a construção de edificações para proteção dos humanos e de seus produtos agrícolas. Foi então que surgiram meios de transporte mais eficientes, facilitando a emergência do comércio e o surgimento de sociedades humanas em grande escala.

A roda parece ser uma inovação relativamente recente, já que as rodas escavadas de extratos arqueológicos mais antigos datam de aproximadamente 5,5 mil anos, tendo sido encontradas na Mesopotâmia. Aproximadamente na mesma época e na mesma região, apareceram as jangadas, os barcos e um sistema de escrita “cuneiforme”, a primeira forma de linguagem escrita de que temos notícia.

Estas tecnologias permitiram aos humanos se congregarem em grandes grupos, o que deu margem ao surgimento da civilização. As primeiras cidades surgiram na Mesopotâmia, ao redor de 6 mil anos atrás. Cerca de um milênio depois, apareceram as primeiras grandes cidades egípcias, inclusive Memphis e Thebas, culminando com os reinados dos grandes reis do Egito. Estas cidades foram construídas como máquinas de guerra, cujas muralhas defensivas eram protegidas por exércitos que empregavam armas produzidas pela tecnologia mais avançada de sua época, incluindo carros de combate, lanças, armaduras, arcos e flechas. Por sua vez, a civilização permitiu a especialização do trabalho humano, conduzindo a um sistema de castas e esforços organizados à proporção que a tecnologia avançava. Pela primeira vez, surgiu uma classe intelectual, que incluía professores, engenheiros, médicos e escribas. Outras contribuições da antiga civilização do Egito incluíram a fabricação de um material semelhante ao

papel, manufaturado a partir dos caules de uma planta chamada *papiro*, a padronização de um sistema de medidas, uma metalurgia sofisticada, a administração de sistemas de canalização da água e a criação de um calendário.

Há mais de 2 mil anos, os gregos inventaram máquinas elaboradas com múltiplos estados internos. Arquimedes, Ptolomeu e outros descreveram alavancas, discos de ressalto (excêntricas), rodas dentadas (cremalheiras), roldanas e polias, válvulas e outros mecanismos intrincados que revolucionaram a medição do tempo, a navegação, a cartografia, a construção de edifícios e os estaleiros navais. Mesmo assim, os gregos são mais conhecidos por suas contribuições para as artes, particularmente a literatura, o teatro e a escultura.

Os gregos foram superados pela tecnologia militar superior dos romanos. O Império Romano alcançou um sucesso tão grande que produziu a primeira civilização urbana a experimentar longos períodos de paz e de estabilidade. Os engenheiros romanos construíram dezenas de milhares de quilômetros de estradas e milhares de edificações públicas, tais como edifícios administrativos, pontes, estádios desportivos, termas e esgotos. Os romanos obtiveram avanços tecnológicos particularmente notáveis nas táticas de intendência militar, incluindo carros de combate avançados, armaduras, catapultas e javelinhas [lançadoras de dardos], além de outras máquinas de guerra sofisticadas.

A queda do Império Romano [do Ocidente], em 476 d.C., introduziu a assim chamada Idade das Trevas. Ainda que o progresso durante os próximos mil anos fosse lento consoante os padrões atuais, a espiral cada vez mais apertada que demarca o progresso tecnológico continuou a acelerar. A ciência, a tecnologia, a religião, a arte, a literatura e a filosofia continuaram a evoluir nas sociedades bizantina, islâmica e chinesa, entre outras. O comércio mundial permitiu uma fertilização cruzada de tecnologias. Na Europa, por exemplo, a balestra (besta) e a pólvora foram tomadas de empréstimo da China. A roca e o fuso vieram da Índia. O papel e a imprensa foram desenvolvidos na China há cerca de 2 mil anos e migraram para a Europa muitos séculos depois. A tecnologia dos moinhos de vento emergiu em diversas partes do mundo ocidental, facilitada pela crescente habilidade de construção das elaboradas engrenagens e máquinas que subsequentemente suportariam a invenção das primeiras calculadoras.

No século XIII foi inventado o relógio movimentado por pesos, utilizando a tecnologia dos discos de ressalto [com dentes pontiagudos servindo como travas] que haviam sido aperfeiçoados para os moinhos de vento e as rodas de irrigação, o que libertou os seres humanos da obrigação de estruturar suas vidas em torno dos movimentos solares. Talvez a invenção mais significativa do final da Alta Idade Média tenha sido a criação da imprensa de tipos móveis por Johannes Gutenberg, que abriu a vida intelectual para as pessoas que se achavam

excluídas da elite controlada pela Igreja e pelo Estado.

Por volta do século XVII, a tecnologia havia criado os meios para a criação de impérios capazes de se expandirem ao redor do globo. Diversos países europeus, incluindo a Inglaterra, a França e a Espanha desenvolveram economias embasadas nos produtos de colônias distantes. Esta colonização gerou o surgimento de uma classe mercantil, um sistema bancário de abrangência mundial e as primeiras formas de proteção da propriedade intelectual, inclusive a patente.

A 26 de maio de 1733, o Escritório de Patentes inglês emitiu uma patente para John Kay, referente à sua “Nova Máquina para Abrir e Beneficiar Lã”. Isto foi uma boa notícia, porque ele tinha planos para manufaturar e vender as “lançadeiras” que também inventara e que serviram de base para a indústria têxtil inglesa, que veio a substituir os teares manuais. A invenção de Kay foi um rápido sucesso, mas ele gastou todos os seus lucros em litígios nos tribunais, tentando em vão fazer valer os direitos que sua patente lhe conferia. Morreu na pobreza, sem perceber que sua inovação na fabricação de tecidos representava o lançamento da Revolução Industrial.

A ampla adoção da inovação de Kay originou pressões para a criação de uma forma mais eficiente de fabricação de fios, que resultou na Máquina de Tecer Algodão, de Sir Richard Arkwright, patenteada em 1770. Durante a década de 1780, novas máquinas foram inventadas para cardar e alisar a lã, a fim de alimentar as novas máquinas de fiação automática. No final do século XVIII, a indústria têxtil inglesa de teares domésticos tinha sido em grande parte substituída por máquinas centralizadas em fábricas cada vez mais eficientes. O nascimento da Revolução Industrial conduziu à fundação do movimento ludita, no princípio do século XIX, o primeiro movimento organizado em oposição à tecnologia.

15. O primatologista Carl Van Schaik observou que os orangotangos do pântano de Suaq Baltive, em Sumatra, na Indonésia, podem ser facilmente ensinados a empregar ferramentas; de fato, os primatas de Suaq constituem a primeira população selvagem em que se observou o emprego natural de ferramentas. Este emprego de ferramentas pode ser o resultado da necessidade local. Não se observou o uso de ferramentas por orangotangos de outras partes do mundo, basicamente porque suas fontes de alimentos são mais facilmente acessíveis. (ZIMMER, Carl. Tooling Through the Trees. *Discover*, 16, nº 11, Nov. 1995, p. 46-47.) Alguns corvos são capazes de criar ferramentas a partir de gravetos e folhas grossas. Estes instrumentos são utilizados para diferentes propósitos, são de construção altamente previsível e até apresentam ganchos e outros mecanismos para encontrar e capturar insetos para sua alimentação.

Frequentemente, eles carregam estes artefatos em voo e os armazenam próximo a seus ninhos. (ADLER, Tina. Crows Rely on Tools to Get Their Work Done. *Science News*, 149, n° 3, 20 Jan. 1966, p. 37.) Os crocodilos não têm a habilidade de segurar suas presas, deste modo, algumas vezes eles as empurram e prendem entre pedras e/ou raízes. A raiz da árvore serve para ancorar a presa morta enquanto o crocodilo se alimenta. Alguns comentaristas consideram que o uso de pedras e raízes pelos crocodilos equivale ao emprego de ferramentas. (De *Animal Diversity Web Site*, do Museu de Zoologia da Universidade de Michigan, em <http://www.oit.itd.umich.edu/projects/ADW/>).

16. Os animais podem se comunicar por grande variedade de razões: defesa (assinalar a aproximação de um perigo para outros membros da espécie); coleta de alimentos (alertar outros membros sobre a existência de uma fonte alimentícia); corte e cobertura sexual (alertar membros do sexo oposto sobre suas intenções sexuais e prevenir aos possíveis competidores que se mantenham afastados) ou demarcação de território. A motivação básica para a comunicação é a sobrevivência da espécie. Mas alguns animais empregam a comunicação não somente por razões de sobrevivência, mas também para manifestar algum tipo de emoção.

Existem muitos exemplos fascinantes de comunicação animal:

s fêmeas de um sapo arbóreo existente na Malásia empregam os artelhos para dar pancadinhas na vegetação, a fim de alertar parceiros sexuais potenciais de que se acham disponíveis. (OLIWENSTEIN, Lori, SAUNDERS, Fenella & PREISER, Rachel. Animais 1995. *Discover*, 17, n° 1, Jan. 1996, p. 54-57).

s machos dos calungas dos prados (pequenos roedores) penteiam e limpam o próprio pelo, a fim de produzirem odores corporais que irão atrair as fêmeas, (ADLER, Tina. Voles Appreciate the Value of Good Grooming. *ScienceNews*, 149, n° 16, 20 Apr. 1996, p. 247).

s baleias se comunicam através de uma série de grunhidos, roncos e gritos. (HIGGINS, Mark. Deep Sea Dialogue. *Nature Canadá*, 26, n° 3, Summer 1997, p. 29-34).

s primatas, naturalmente, são capazes de vocalizar a comunicação de mensagens muito variadas. Um grupo de pesquisadores estudou os macacos capuchinhos, os micos e os micos-leões dourados das Américas Central e do Sul. Frequentemente, estes animais ficam impossibilitados de se enxergar uns aos outros através da vegetação das flores; deste modo, desenvolveram uma série de chamados ou guinchos que alertam os membros do grupo a se movimentarem na direção de fontes alimentares. (BOWER, Bruce. Monkeys Sound Off, Move Out. *ScienceNews*, 149, n° 17, 27 Apr. 1996, p. 269).

17. Afirma-se que os gorilas Washoe e Koko (macho e fêmea, respectivamente) aprenderam a empregar a ASL, a Linguagem de Sinais Americana ensinada aos mudos. Estes são os mais famosos dentre os primatas considerados como capazes de comunicação. Viki, um chimpanzé, foi ensinado a vocalizar três palavras (*mama*, *papa* e *cup*). Lana e Kanzi (duas chimpanzés fêmeas) foram ensinadas a apertar botões com símbolos visuais.

Steven Pinker comenta as afirmações de pesquisadores sobre o fato de que alguns macacos são perfeitamente capazes de compreender a linguagem dos sinais. Em *The Language Instinct: how the mind creates language* (New York: Morrow, 1994), ele observa que esses macacos aprenderam uma forma muito primitiva de ASL, não o conjunto de nuances da linguagem. Os sinais que eles aprenderam a fazer eram imitações bastante grosseiras dos “sinais verdadeiros”. Além disso, de acordo com Pinker, os pesquisadores frequentemente interpretaram movimentos manuais aleatórios dos macacos como sendo sinais verdadeiros. Um dos pesquisadores da equipe que estudou Washoe, ele mesmo surdo, observou que os demais pesquisadores reuniam longas listas de observações de sinais, enquanto o registro do próprio observador surdo permanecia bastante curto.

18. KALISH, David E. **Chip Makers and U.S. Unveil Project**, *New York Times*, **12 Sept. 1997**.

19. **O gráfico “Crescimento Exponencial da Computação, 1900-1998” é baseado nos dados abaixo:**

20.

Ano

Dispositivo

Tempo Adição (seg)

Cálculos por Segundo (cps)

Custo (em US\$)

Custo (em US\$ 998)

índice d Preços a Consumit (p/US\$ 1.0

1900

Máquina Analítica

9.00E-00

1,11 E-01

S 1.000.000
\$ 19.097.000

5.821E-06

1908
Tabuladora de Hollerith
5.00E+01
2,00E-02
\$9.000
\$154.000

1.299E-04

1911
Calculadora de Monroe
3.00E+01
3.33E-02
\$35.000

\$576.000

5,787E-05

1919

Tabuladora da IBM

5.00E-00

2.00E-01

\$2,0.000
\$188.000

1.064E-03

1928
National Ellis 3000
1.00E+01
1.00E-01
\$15.000
\$143.000

6.993E-04

1939
Zuse 2
1.00E-00
1.00E-00
\$10.000
\$117.000

8.547E-03

1940
Calculadora de Bell Modelo 1

3.00E-01

3,33E-00
\$20.000

\$233.000

1,431E-02

1941
Zuse 3
3.00E-01
3.33E-00
\$6.500
\$72.000

4.630E-02

1943
Colossus
2,00E-04
5,00E+03
\$100.000
\$942.000

5.308E-00

1946
ENIAC
2,00E-04
5.00E+03

\$750.000

\$6.265.000

7.981E-01

1948

IBM-SSEC

8.00E-04

1.25E+03

\$500.000

\$3.380.000

3.698E-01

1949
BINAC

2.86E-04

3.50E+03

\$278.000

\$1,903.000

1.837E-00

1949

EDSAC

1.40E-03

7.14E+02

\$100.000

\$684.000

1.044E-00

1951

Univac 1

1.20E-04

8,33E+03

\$930.000

\$5.827.000

1.430E-00

1953

Univac 1103

3.00E-05

3.33E+04

\$895.000

\$5.461.000

6.104E-00

1953

IBM 701

6.00E-05

1.67E+04

\$230.000

\$1.403.000

1.188E+01

1954

EDVAC

9,00E-04

1,11E+03

\$500.000

\$3.028.000

3.669E-01

1955

Whirlwind

5,00E-05

2.00E+04

\$200.000

\$1 ;216.000

1.645E+01

1955

IBM 704

2.40E-05

4.17E+04

\$1.994.000

\$12.120.000

3,438E-00

1958
Datamatic 1000

2.50E-04

4.00E+03
\$2,179.100
\$12,283.000

3.257E-01

1958
Univac II

2.00E-04

5,00E+03

\$970.000

\$5,468.000

9.144E-01

1959
Mobidic

1.60E-05

6.25E+04
\$1,340.000
\$7,501.000

8.332E-00

1959

4,00E-06
2.50E+05
\$3.000.000
\$16.794.000
1.489E+01

IBM 7090

1960

6,00E-04
1.67E+03

IBM 1620

\$200.000

\$1.101.000

1.514E-00

1960
DEC PDP-1

1.00E-05

1.00E+05
\$120.000

\$660.000

1.515E+02

1961
DEC PDP-4

1.00E-05

1,00E+05
\$65.000

\$354.000

2,825E+02

1962

Univac iii

9,00E-06

1,11E+05

\$700.000

\$3.776.000

2.943E+01

1964

CDC 6600

2,00E-07

5,00E+06

\$6.000.000

\$31.529.000

1.586E+02

1965

IBM 1130

8.00E-06

1.25E+05

\$50.000

\$259.000

4.826E+02

1965

DEC PDP-8

6.00E-06

1.67E+05

\$18.000

\$93.000

1.792E+03

1966

IBM 360 Modelo 75

8.00E-07

1.25E+06

\$5.000.000

\$25.139.000

4.972E+01

1968

DEC PDP—10

2.00E-06

5.00E+05

\$500.000

\$2.341.000

2,136E+0

1973

Intellec 8

1.56E-04

6.41E+03

\$2.398

\$8.798

7.286E+02

1973

Data General Nova

2.00E-05

5.00E+04
\$4.000

\$14.700

3,401F,+03

1975
Altair 8800

1.56E-05

6.41E+04
\$2.000

\$6.056

1.058E+04

1976
DEC PDP—11 Modelo 70
3,00E-06
3.33E+05
\$150.000

\$429.000

7.770E+02

1977
Cray 1

1.00E-08

1.00E+08
\$10.000.000
\$26.881.000
3.720E+03

Ano
Dispositivo
Tempo Adição (seg)
Cálculos por Segundo (cps)
Custo (em US\$)
Custo (em US\$ 998)
índice de Preços ao Consumidor (p/US\$ 1.000)

1977
Apple II

1.00E-05

1.00E+05
\$1.300

\$3.722

2,687E+04

1979
DEC VAX 11
Modelo 780
2,00E-06
5.00E+05
\$200.000

\$449.000

1,114E+03

1980
Sun-1
3,00E-06
3.33E+05
\$30.000

\$59.300

5.621E+03

1982

IBM PC

1,56E-06
6.41E+05
\$3.000

\$5.064

1.266E+05

1982
Compaq Portable

1.56E-06

6.41E+05
\$3.000

\$5.064

1,266E+05

1983

IBM^{AT}-80286

1,25E-06
8,00E+05
\$5.669

\$9.272

8,628E+04

1984
Apple Macintosh

3.00E-06

3,33E+05
\$2.500

\$3.920

8.503E+04

1986
Compaq Deskpro 386

2.50E-07

4,00E+06
\$5.000

\$7.432

5,382E+05

1987
Apple Mac II

1.00E-06

1,00E+06
\$3.000

\$4.300

2,326E+05

1993
Pentium PC

1.00E-07

1,00E+07
\$2.500

\$2.818

3,549E+06

1996

Pentium PC

1.00E-08

1,00E-08
\$2.000

\$2.080

4.808E+07

1998
Pentium II PC

5.00E-09

2,00E+08
\$1.500

\$1.500

1.333E+08

E = Expoente

CPS = Consumer Price Standard [índice de Preços ao Consumidor]; cps = cálculos por segundo.

As conversões de custo em dólares de cada ano para o valor em dólares de 1998 são baseadas na razão do índice de Preços ao Consumidor para os respectivos anos, conforme registrados pelo Woodrow Federal Reserve Bank of Minneapolis. Consulte sua página em

<<http://woodrow.mpls.frb.fed.us/economy/calc/cpihome.html>>.

Charles Babbage projetou sua Máquina Analítica durante os anos 1830 continuou a refinar o conceito até sua morte, em 1871. De fato, Babbage nunca deu por completa a sua invenção. Estimei a data de 1900 para a Máquina Analítica como uma data provável em que sua tecnologia mecânica se tornou prática, com base na capacidade de outras tecnologias mecânicas de computação disponíveis nesse período de tempo.

As fontes para o gráfico “Crescimento Exponencial da Computação de 1900 a 1998” incluem as seguintes, com as respectivas páginas:

25 Years of Computer History <<http://www.compros.com/timeline.html>>
BYTE Magazine: “Birth of a Chip”

<http://www.byte.com/art/9612/secó/art2.html>>
cdc.html@www.citybeach.wa.edu (Stretch).
<http://www.byte.citybeach.wa.edu.au/lessons/history/video/sunedu/computer/cd>
Chronology of Digital Computing Machines
<http://www.best.com/~wilson/faq/chrono.html>>
Chronology of Events in the History of Microcomputers <<http://www3.islandnet.com/~kpolsson/comphist/comp1977.html>>
The Computer Museum History Center
<http://www.tcm.org/html/history/index.html>>
delan@infopad.eecs.berkeley.edu
<http://infopad.eecs.berkeley.edu/CIC/summary/deian>>
Electronic Computers Within the Ordnance Corps
<http://ftp.arl.mil/~mike/comphist/61orDNance/index.html>>
General Processor Information
<http://infopad.eecs.berkeley.edu/CIC/summary/local/>>
The History of Computing at Los Alamos
<http://bang.lanl.gov/video/sunedu/computer/comphist.html>>
The Machine Room
<http://www.tardis.ed.ac.uk/~alexios/MACHINE.-ROOM/>>
Mind Machine Web Museum <<http://userwww.sfsu.edu/~hl/mmm.html>>
Hans Moravec at Carnegie Mellon University: Computer Data.
<http://www.ffc.ri.cmu.edu/~hpm/book97/ch3/processor.list>> *PC Magazine On-*
line: Fifteen Years of PC Magazine
<http://www.zdnet.com/pcmag/special/anniversary/>>
PC Museum
<http://www.microtec.net/~dlessard/index.html>>
PDP-8 Emulation
<http://www.csbh.mhv.net/~mgraftam/meu/pdp8.html>>
Silicon Graphics Webpage Press Release
<http://www.pathfinder.com/money/latest/press/PW/1998Jun16/270.html>>
AUGARTEN, Stan. *Bit by bit: an illustrated history of computers*. New York: Ticknor & Fields, 1984.
International Association of Electrical and Electronics Engineers IEEE. *Annals of the History of the Computer*, v. 9, n° 2, p. 150-153, 1987.
. *Annals of the History of the Computer*, v. 16, n3, p. 20, 1994.
MORAVEC, Hans. *Mind children: the future of robot and human intelligence*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988.

MOREAU, René. *The Computer comes of age*. Cambridge, MA: MIT Press, 1984.

21. Para pontos de vista adicionais quanto ao futuro da capacidade dos computadores, veja: Hans Moravec, *Mind children: the future of robot and human intelligence* (Cambridge, MA: MIT Press, 1988); e “An interview with David Waltz, vice-president, Computer Science research, NEC Research Institute” [Entrevista com David Waltz, vice-presidente para pesquisas em ciência da computação, Instituto de Pesquisas NEC], na página da *Think Quest*, localizada em <<http://tqd.advanced.org/2705/waltz.html>>. Eu também discuto este assunto em meu livro *The age of intelligent machines* (Cambridge, MA: MIT Press, 1990, p. 401-419). Estas três fontes discutem o desenvolvimento exponencial da computação.

22. Uma teoria matemática referente à diferença entre comunicação e ruído e a habilidade de um canal de comunicações transmitir informações.

23. *The Santa Fe Institute* exerceu um papel pioneiro no desenvolvimento de conceitos e tecnologia relacionados à complexidade e a sistemas emergentes. Um dos principais desenvolvedores de paradigmas associados ao caos e à complexidade foi Stuart Kauffman. O livro de Kauffman, *At home in the universe: the search for the laws of self-organization and complexity* (Oxford: Oxford University Press, 1995), observa “as forças da ordem que se encontram na borda do caos” (conforme a descrição da ficha catalográfica). Em seu livro *Evolution of complexity by means of natural selection* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998), John Tyler Bonner apresenta a seguinte questão: “De que maneira um ovo se transforma em um adulto elaborado? De que maneira uma bactéria, mesmo depois de milhões de anos, poderia ter evoluído até transformar-se em um elefante?”.

John Holland é outro pensador vanguardista do Santa Fe Institute envolvido na área emergente da complexidade. Seu livro *Hidden order: how adaptation builds complexity* (Reading, MA: AddisonWesley, 1996) apresenta uma série de conferências que Holland proferiu no Instituto Santa Fé, em 1994.

Veja também a outra obra de John H. Holland, *Emergence: from chaos to order* (Reading, MA: AddisonWesley, 1998); e M. Mitchell Waldrop: *Complexity: the emerging Science at the edge of order and chaos* (New York: Simon and Schuster, 1992).

CAPÍTULO 2: A INTELIGÊNCIA DA EVOLUÇÃO

1. No princípio da década de 1950, a composição química do DNA já era

conhecida. Nessa época, as questões importantes eram: De que maneira se constrói a molécula do DNA? Como o DNA executa a sua tarefa? Estas duas questões seriam respondidas em 1953 por James D. Watson e Francis H. C. Crick.

Watson e Crick escreveram o artigo “The Molecular Structure of Nucleic Acid: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid”, publicado na edição de 25 de abril de 1953 da revista *Nature*. Para maiores informações sobre a corrida entre diversos grupos de pesquisa na busca da descoberta da estrutura molecular do DNA, leia o livro de Watson, *The double helix* (New York: Atheneum Publishers, 1968).

2. O processo de tradução do código começa através do desenrolar de uma região do DNA, a fim de expor o código dessa área. Um filamento de RNA mensageiro (mRNA) é criado copiando-se os códigos dos pares básicos de DNA expostos. O RNA mensageiro, cujo nome lhe foi apropriadamente atribuído, registra uma cópia da porção da sequência das letras do DNA e viaja para fora do núcleo em direção ao citoplasma celular. Lá o mRNA encontra uma molécula de ribossomo, que lê as letras codificadas nas moléculas do mRNA, e então, usando outro conjunto de moléculas chamadas RNA transferidor (tRNA), efetivamente constrói as cadeias de proteínas, gerando um aminoácido de cada vez. Estas proteínas são as moléculas operárias que realizam as funções celulares. Por exemplo, a hemoglobina, que é responsável pelo transporte do oxigênio do sangue arterial desde os pulmões até todos os demais tecidos do corpo, é formada por uma sequência de 500 aminoácidos. Uma vez que cada aminoácido requer três letras de nucleotídeos, somente o código para a formação da hemoglobina requer 1,5 mil posições das moléculas de DNA. As moléculas da hemoglobina, incidentalmente, são criadas 500 trilhões de vezes por segundo no interior do corpo humano, o que demonstra que esse maquinário é altamente eficiente.

3. O objetivo do Projeto Genoma Humano é o de construir mapas detalhados de sequências genéticas dos 50 mil a 100 mil genes que compõem o genoma humano e fornecer informações sobre a estrutura geral e as sequências do genoma humano, do mesmo modo que o de outros animais. O projeto foi iniciado na metade da década de 1980. A página da Web sobre o Projeto Genoma Humano <<http://www.nhgri.nih.gov/HGP/>> contém informações sobre os dados em que se baseia o projeto, metas presentes e futuras e explicações detalhadas sobre a estrutura do DNA.

4. O trabalho de Thomas Ray é descrito em um artigo da autoria de Joe Flower, “A Life in Silicon” (*New Scientist*, ISO, n. 2034, 15Jun. 1996, p. 32-36). O dr.

Ray também possui uma página na Web com atualizações sobre sua evolução baseada em software, cujo endereço é <<http://www.hip.atr.co.jp/~ray/>>.

5. Uma seleção de livros explorando a natureza da inteligência inclui *Frames of mind*, de H. Gardner (New York: Basic Book, 1983); *The mismeasure of man*, de Stephen Jay Gould (New York: Basic Book, 1983); *The bell curve*, de R. J. Herrnstein e C. Murray (New York: The Free Press, 1994); *The bell curve in debate* (New York: Times Books, 1995).

6. Para posterior exploração das teorias sobre a expansão e contração do Universo, veja *A brief history of time*, de Stephen J. Hawking (New York: Bantam Books, 1998) [*Uma breve história do tempo*. 8 ed. Rio de Janeiro: Rocco, 1988] e *The Big Bang never happened*, de Erié L. Lerner (New York: Random House, 1991). Para as atualizações mais recentes, veja a página da Web da International Astronomical Union (IAU), no endereço <http://www.intastun.org/> do mesmo modo que a supramencionada *Introduction to Big Bang Theory*, o endereço de cuja página na Web é <<http://www.bowdoin.edu/dpt/physics/astro.1997/astro4/bigbang.html>>.

7. Ver Capítulo 3, Sobre Mente e Máquinas, incluindo a caixa de texto “A Perspectiva da Mecânica Quântica”.

8. LEWIS, Peter. Can intelligent life be found? Gorilla will go looking. *New York Times*, 16 Apr. 1998.

9. O programa Voice Xpress Plus, da Divisão de Ditados da Learnout and Hauspie Speech Products (anteriormente Kurzweil Applied Intelligence), permite aos usuários transmitirem comandos em “linguagem natural” ao programa Microsoft Word. Também suporta ditado em linguagem contínua com o emprego de grandes vocabulários. O programa é *modeless*, isto é, não submetido a mudança de modo de funcionamento, significando que os usuários não necessitam indicar quando estão enviando comandos. Por exemplo, se o usuário disser: “Gostei muito de minha viagem à Bélgica na semana passada. Amplie este parágrafo quatro pontos. Troque a fonte para Arial. Espero voltar à Bélgica em breve.” o programa Voice Xpress Plus automaticamente determina que a segunda e terceira sentenças são comandos e os executará (ao invés de transcrevê-los no texto que aparece sobre a tela). Igualmente será capaz de determinar que a primeira e a quarta sentenças não são comandos e as transcreverá no documento.

10.

CAPITULO 3: SOBRE MENTE E MÁQUINAS

1. A fim de saber mais sobre o estado atual da pesquisa sobre varredura cerebral, veja o artigo “Brains at work: researchers use new techniques to study how humans think”, de Vincent Kiernan, um bom lugar para se começar. Esse artigo, publicado em *Chronicle of Higher Education* (v. 44, n. 20, p. A16-17, 23 Jan. 1988), discute a utilização de MRI para mapear a atividade cerebral durante processos complexos de pensamento.

“Visualizing the Mind”, de Marcus E. Raichle, no exemplar de abril de 1994 da revista *Scientific American*, fornece informações básicas sobre as diversas tecnologias de produção de imagens cerebrais: a MRI (imagem por ressonância magnética), a PET (tomografia por emissão de pósitrons), a MEG (magnetoencefalografia) e o EEG (eletroencefalograma).

“Unlocking the secrets of the brain”, de Tabitha M. Powledge, é um artigo publicado em duas partes na edição julho-agosto de 1997 da *Bioscience* (v. 47, p. 330-334, continuando em 403-409).

2. As células que formam o sangue na medula óssea e em certas camadas da pele crescem e se reproduzem com bastante frequência, substituindo completamente a si mesmas em uma questão de meses.

Em contraste, as células do tecido muscular não se reproduzem durante vários anos. Durante muito tempo se acreditou que os neurônios não se reproduzissem mais após o nascimento, mas recentes descobertas indicam a possibilidade de reprodução dos neurônios dos primatas. A dra. Elizabeth Gould, da Universidade de Princeton e o dr. Bruce S. McEwen da Universidade Rockefeller de New York descobriram que os saguis são capazes de manufaturar células cerebrais no hipocampo, uma região do cérebro conectada à aprendizagem e à memória. Inversamente, quando esses animais se encontram sob tensão, diminui a habilidade de fabricar novas células cerebrais no hipocampo. Esta descoberta é descrita em um artigo publicado por Gina Kolata, intitulado “Studies find brain grows new cells”, *The New York Times*, 17 de março de 1998.

Outros tipos de células podem crescer e se reproduzir quando necessário. Por exemplo, se sete oitavos das células do fígado forem removidos, as células restantes crescem e se reproduzem até que a maioria das células retiradas tenha sido substituída. Arthur Guyton, *Physiology of the human body* (5 ed. Philadelphia, PA: W. B. Saunders, 1979, p. 42-43).

3. A opressão de etnias, nacionalidades e outros grupos humanos tem sido frequentemente justificada da mesma forma.

4. As obras de Platão se acham disponíveis em grego e em inglês nas edições da

Loeb Classical Library. Um relato detalhado da filosofia de Platão é apresentado por J. N. Findlay, em *Plato and Platonism: an introduction*. Sobre a escolha do formato diálogo por Platão, veja “Why Plato wrote dialogues”, D. Hyland, em *Philosophy and Rhetoric I* (p. 38-50, 1968).

5. Uma história resumida do positivismo lógico de Wittgenstein pode ser encontrada no livro de A. J. Ayer, *Logicalpositivism* (New York: MacMillan, 1959, p. 3-28).

6. David J. Chalmers estabelece uma distinção “entre os problemas fáceis e os problemas difíceis do consciente” e argumenta que “um problema difícil ultrapassa inteiramente os métodos convencionais de explicação”, em um ensaio intitulado *Facing up to the problem of consciousness*, publicado por Stuart R. Hameroff, editor, em *Toward a Science of consciousness: the first Tucson discussitms and debates (Complex Adaptive Systems)* (Cambridge, MA: MIT Press, 1996).

7. Este ponto de vista objetivo foi sistematicamente definido no começo do século XX por Ludwig Wittgenstein, em sua análise da linguagem, denominada Positivismo Lógico. Esta escola filosófica, que subsequentemente influenciou tanto a linguística como a emergência da teoria computacional, busca sua inspiração na primeira obra importante de Wittgenstein, *The tractatus logico-philosophicus*. O livro não constituiu um sucesso imediato e só encontrou um editor, devido à influência de seu antigo professor, Bertrand Russell.

Em uma antevisão das primeiras linguagens de programação de computadores, Wittgenstein numerou todas as declarações de seu *Tractatus*, a fim de indicar sua posição dentro da hierarquia de seu pensamento. Ele inicia pela Declaração 1: “O mundo é tudo o que constitui um caso,” indicando a ambiciosa agenda de seu livro. Uma declaração típica é a numerada 4.0.0.3.1: “Toda filosofia é crítica da linguagem”. Sua última declaração, de número 7, é: “Aquilo sobre que não formos capazes de falar deve ser deixado em silêncio.” Aqueles que retraçam suas raízes filosóficas até o primeiro trabalho de Wittgenstein ainda consideram esta pequena obra como o livro de filosofia mais influente do século XX. (Ludwig Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus*, traduzido para o inglês por D. F. Pears e B. F. McGuinness, Alemanha, 1921).

8. No Prefácio de *Philosophical investigations*, traduzido por G. E. M. Anscombe, Wittgenstein “reconhece” que cometeu “graves erros” em seu *Tractatus* anterior.

9. Para um estudo geral da vida e obra de Descartes, consulte o *Dictionary of scientific biographies* (v. 4; p. 55-65). Também a obra *Descartes*, de Jonathan Rée, apresenta um ponto de vista unificado sobre a filosofia cartesiana e sua

relação com outros sistemas de pensamento.

10. Citado do livro de Douglas R. Hofstadter, *Gödel, Escher, Bach: an etemal golden braid* (New York: Basic Books, 1979).
11. “Computing machinery and intelligence”, publicado em *Mind* (v. 59, p. 433-460, 1950), reimpresso em *Computers and thought*, editado por E. Feigenbaum e J. Feldman (New York: McGraw-Hill, 1963).
12. Para uma descrição da mecânica quântica, leia “Quantum theorists try to surpass digital computing”, de George Johnson, *New York Times*, 18 de fevereiro de 1997.

CAPITULO 4: UMA NOVA FORMA DE INTELIGÊNCIA NA TERRA

1. Dispositivos para cálculos simples foram aperfeiçoados quase dois séculos antes de Babbage, iniciando com a *Pascaline*, de Pascal, em 1642, capaz de somar números, e uma máquina de multiplicar, construída por Gottfried Wilhelm Leibniz, cerca de duas décadas mais tarde. Porém, a computação automática de logaritmos foi muito mais ambiciosa que qualquer outra coisa tentada previamente. Babbage não conseguiu chegar muito longe exauriu seus recursos financeiros, entrou em litígio com o governo britânico sobre a posse da invenção, teve dificuldade para conseguir que as peças de precisão de formato incomum fossem fabricadas e assistiu, impotente, enquanto seu engenheiro principal demitia um a um todos os operários e, depois, pedia igualmente demissão. Também foi perseguido por tragédias de caráter pessoal, incluindo a morte de seu pai, de sua esposa e de dois de seus filhos.

A única coisa óbvia a fazer agora, pensou Babbage, era abandonar a sua “Máquina Diferencial” e embarcar na realização de um projeto ainda mais ambicioso: o primeiro computador totalmente programável fabricado no mundo. A nova concepção de Babbage a “Máquina Analítica” podia ser programada a fim de resolver qualquer problema lógico ou computacional possível.

A Máquina Analítica possuía uma memória RAM de acesso aleatório consistente de mil “palavras”, cada uma delas composta por 50 dígitos decimais e equivalente a aproximadamente 175 mil bits. Um número poderia ser retirado de qualquer localização, modificado e depois armazenado em qualquer outro local. Tinha uma leitora de cartões perfurados e até incluía uma impressora, embora ainda faltasse meio século para que os linotipos, e mesmo as máquinas datilográficas, fossem inventadas. Possuía ainda uma CPU, uma unidade central de processamento que podia realizar os mesmos tipos de operações lógicas e aritméticas que uma CPU moderna realiza hoje em dia. Mais importante ainda,

possuía uma unidade especial de armazenamento para o software com uma linguagem de máquina bastante similar às que são empregadas pelos computadores atuais. Um campo decimal especificava o tipo de operação e outro especificava o endereço do operando na memória. Transcrito de Stan Augarten, *Bit by bit: an illustrated history of computers* (New York: Ticknor & Fields, 1984, p. 63-64).

Babbage descreve as características de sua máquina em *On the mathematical powers of the calculating engine*, escrito em 1837 e reimpresso como Apêndice B no livro *Charles Babbage: pioneer of the Computer*, de Anthony Hyman (Oxford: Oxford University Press, 1982). Para mais informações biográficas sobre Charles Babbage e Ada Lovelace, veja a biografia escrita por Hyman e o livro *Ada: a life and a legacy*, de Dorothy Stein (Cambridge, MA: MIT Press, 1985).

2. AUGARTEN, Stan. *Bit by bit: an illustrated history of computers*. New York: Ticknor & Fields, 1984. p. 63-64. A descrição feita por Babbage de sua Máquina Analítica, em *On the mathematical powers of the calculating engine*, escrito em 1837, foi reimpressa como Apêndice B no livro *Charles Babbage: pioneer of the Computer*, de Anthony Hyman (Oxford: Oxford University Press, 1982).

3. Joel Shurkin, em *Engines of the mind* (p. 104), descreve a máquina de Aiken como “uma Máquina Analítica eletromecânica administrada por cartões IBM”. Para uma história concisa do desenvolvimento do Mark I, veja Stan Augarten, *Bit by bit: an illustrated History of Computers* (p. 103-107). I. Bernard Cohen apresenta uma nova perspectiva sobre o relacionamento de Aiken com Babbage em seu artigo “Babbage and Aiken”, publicado em *Annals of the History of Computing*, n. 10, p. 171-193, 1988.

4. A ideia do cartão perfurado, que Babbage tomou de empréstimo dos teares mecânicos de Jacquard (máquinas de tecer automáticas controladas por cartões metálicos perfurados), também sobreviveu e formou a base da automação das calculadoras manuais, cada vez mais populares ao longo dos últimos anos do século XIX. Essa tendência culminou no recenseamento norte-americano de 1890, a primeira vez em que a eletricidade foi utilizada em um projeto importante de processamento de dados. Os próprios cartões perfurados conservaram sua vida útil como um periférico importante dos computadores até a década de 1970.

5. O *Robinson*, de Turing, não era um computador programável. Nem precisava ser porque estava destinado a cumprir uma única função. O primeiro computador programável foi desenvolvido pelos alemães. Konrad Zuse, um engenheiro civil alemão, mecânico e inventor nas horas vagas, foi motivado a facilitar aquilo que

mais tarde referiu como “aqueles terríveis cálculos matemáticos que os engenheiros civis eram forçados a fazer”. Como o de Babbage, o seu primeiro dispositivo, denominado Z-1, era inteiramente mecânico construído na sala de estar de seus pais com um conjunto de peças de um jogo de armar. Já o Z-2 utilizava relés eletromecânicos e era capaz de resolver equações complexas simultâneas. Foi sua terceira versão o Z-3 que demonstrou o maior valor histórico. Permanece incontestavelmente como o primeiro computador *programável* do mundo. Como se poderia prever retroativamente pela Lei dos Retornos Acelerados aplicada à computação, o Z-3 de Zuse era ainda bastante lento uma única multiplicação levava mais de três segundos.

Ainda que Zuse tenha recebido algum apoio incidental do governo alemão e que suas máquinas tenham executado uma função militar secundária, havia pouca consciência na época, entre as autoridades alemãs se é que existia alguma do que era a computação e qual poderia ser sua significação bélica. Isto explica sua aparente confiança na segurança de seu código Enigma. O estabelecimento militar alemão atribuiu uma prioridade imensamente maior a diversas outras tecnologias avançadas, em vez daquela, tais como a construção de foguetes e as armas atômicas.

O destino de Zuse seria que ninguém nunca lhe iria dar muita atenção, nem tampouco à sua invenção; até mesmo os Aliados o ignoraram após o final da guerra. O crédito da invenção do primeiro computador programável frequentemente é atribuído a Howard Aiken, apesar do fato de que seu Mark I não se tenha tornado operacional senão três anos após a construção do Z-3. Quando o apoio financeiro de que dependia Zuse foi retirado pela liderança do Terceiro Reich, ainda no meio da guerra, um oficial alemão explicou-lhe que “as aeronaves alemãs são as melhores do mundo. Eu não posso imaginar o que poderia ser calculado para melhorá-las ainda mais.”

A assertiva de Zuse de que foi ele o construtor do primeiro computador digital programável inteiramente operacional no mundo é apoiada pelo pedido de patente que ele apresentou. Veja, por exemplo, o título do pedido de patente protocolado em nome de K. Zuse: *Verfahren zur Selbst Actigen Durchfiihrung von Rechnungen mit Hilfe von Rechenmaschinen* [Planos para auto execução de cálculos com a ajuda de máquinas calculadoras], registrado no Escritório de Patentes alemão sob o número de ordem Z23624, de 11 de abril de 1936. Excertos traduzidos, sob o nome de “Methods for automatic execution of calculations with the aid of computers” aparecem em *The origin of digital computers* (p. 159-166), editado por BrIan Randell.

6. “Computing machinery and intelligence”, publicado em *Mind* (v. 59, p 433-

460, 1950), reimpresso em *Computers and thought*, editado por E. Feigenbaum e J. Feldman (New York: McGraw-Hill, 1963).

7. Veja A. Newell, J. C. Shaw e H. A. Simon, “Programming the logic theory machine”, *Proceedings of the western joint Computer conference*, 1957, p. 130-140.

8. *Principia mathematica*, de Russell e Whitehead (veja referências no final desta nota de conclusão), publicado pela primeira vez em três tiragens, entre 1910 e 1913, foi uma obra seminal, que reformulou a matemática com base na nova concepção de Russell, denominada Teoria dos Conjuntos. Foram os avanços de Russell, através da Teoria dos Conjuntos, que abriram o caminho para o desenvolvimento da subsequente Teoria Computacional de Turing, por sua vez embasada na Máquina de Turing (veja anotação abaixo). Segue-se minha própria versão do “Paradoxo de Russell”, que estimulou a descoberta do próprio Russell. Antes de se ver transportado para o “Outro Lugar”, nosso amigo jogador tivera uma vida bastante dura. Ele sempre fora impaciente e não gostava de perder. Em nossa história, ele também demonstra um certo grau de pensamento lógico. Mas, desta vez, ele escolhera um cara errado para despachar. Se, ao menos, ele tivesse sabido que o camarada era sobrinho do juiz.

Conhecido de qualquer maneira pela sua reputação de enforcador, o magistrado está furioso e deseja impor a sentença mais severa possível em que consiga pensar. Desse modo, ele diz ao jogador que não somente ele será sentenciado à morte, como a punição deverá ser executada de uma maneira muito especial. “Em primeiro lugar, nós vamos nos livrar de você o mais breve possível, do mesmo modo que fez com sua vítima. A execução deverá ser realizada no próximo sábado, o mais tardar. Além disso, eu não pretendo deixar que você se prepare para o momento em que será justificado. Até a manhã do dia, você não saberá com certeza se a data chegou. Quando nós o formos buscar, terá uma surpresa.”

Imediatamente, o jogador replicou: “Isso é ótimo, senhor juiz. Fico extremamente aliviado.”

Desse modo, o juiz exclamou: “Não entendo. De que maneira você pode sentir-se aliviado? Eu o condenei à pena de morte. Determinei que a sentença seja levada a cabo em breve, e ainda mais, que você não se possa preparar devidamente para enfrentá-la, porque até a manhã da execução você não saberá com certeza se irá ou não morrer nesse dia.”

“Bem, Meritíssimo,” argumentou o jogador, “para que a sua sentença seja executada dentro dos termos determinados, eu não posso ser executado neste sábado.”

“Por que não?” quis saber o juiz.

“Porque, se a sentença deve ser levada a cabo até sábado, se de fato chegarmos até o sábado, eu saberei de certeza que devo ser executado nesse dia e então isto não configuraria absolutamente uma surpresa.” “Suponho que você tenha razão,” replicou o juiz. “Você não poderá ser executado no sábado. Mas ainda não entendo porque isso o faz sentir-se aliviado.”

“Bem, se o sábado foi definitivamente excluído, então eu tampouco poderei ser executado na sexta-feira.”

“E essa agora...?” surpreendeu-se o juiz, cujo raciocínio era meio lento.

“Nós já concordamos que eu não posso ser executado no sábado. Isto transforma a sexta-feira no último dia em que eu possa ser executado. Mas, se a sexta-feira chegar, eu saberei definitivamente que serei executado nesse dia e, portanto, deixará de ser uma surpresa. Desse modo, tampouco posso ser executado na sexta-feira.”

“Percebo,” disse o juiz. Mas o assassino prosseguiu:

“Desse modo, o último dia em que eu posso ser executado passa a ser a quinta-feira. Mas, se chegar a quinta-feira, eu vou saber com certeza que esse é o dia de minha execução e, mais uma vez, a surpresa será arruinada... Assim, quinta-feira fica de fora. Segundo o mesmo raciocínio, podemos eliminar quarta-feira, terça-feira, segunda-feira e até mesmo hoje.”

G juiz coçou a cabeça enquanto o jogador era levado de volta para sua cela de prisão, cheio de confiança em si mesmo.

Há um epílogo para a história. Na quinta-feira, o jogador foi levado para a forca. Muito para sua surpresa. Desse modo, as ordens do juiz são cumpridas à risca.

Esta é a minha versão do que veio a ser conhecido como o “Paradoxo de Russell”, em homenagem a Bertrand Russell, talvez a última pessoa que obteve grandes realizações tanto em matemática como em filosofia. Se analisarmos esta história, veremos que as condições que o juiz estabeleceu resultam em uma conclusão a que nenhum dos dias pode satisfazer, porque, como o prisioneiro indica de forma tão racional, cada um deles, por sua vez, ao ser escolhido, deixaria de constituir-lhe uma surpresa. Mas é a *própria conclusão* que modifica a situação e toma a surpresa novamente possível. Isto nos leva de volta à situação original em que o prisioneiro (teoricamente) poderia demonstrar que cada dia por sua vez seria impossível e assim por diante, *ad infinitum*. O que o juiz faz é aplicar “a Solução de Alexandre”, empregada por Alexandre Magno, ao cortar em dois com sua espada o nó górdio, impossível de ser desatado.

Um exemplo mais simples, justamente aquele com que Russell contendeu, é a seguinte questão a respeito de conjuntos. Um conjunto é uma construção matemática que, como seu nome implica, é formado por uma coleção de objetos. Um conjunto pode incluir cadeiras, livros, autores, jogadores, números, outros

conjuntos, a si próprio ou seja lá o que se imagine. Agora, considere um Conjunto A que, por definição, contém todos os conjuntos que não são membros de si mesmos. O Conjunto A contém a si próprio ou não?

Ao considerarmos este famoso problema, percebemos que há apenas duas respostas possíveis, ou seja, “Sim” e “Não”. Isto permite que todas as respostas possíveis sejam testadas (uma coisa que não é possível para a maior parte dos problemas matemáticos). Então, vamos considerar o Sim. Se a resposta for Sim, então o Conjunto A contém a si próprio. Porém, se A contém a si próprio, então, de acordo com a condição definidora, o Conjunto A não poderia ser membro do Conjunto A e, portanto, não pertence a si mesmo. Uma vez que a resposta Sim conduz a uma contradição, então deverá ser a resposta errada. Então, vamos testar o Não. Se a resposta for Não, então o Conjunto A não contém a si mesmo. Porém, mais uma vez de acordo com a condição definidora, se o Conjunto A não fosse membro de si mesmo, então ele teria de pertencer ao Conjunto A, uma nova contradição. Do mesmo modo que, na história a respeito do prisioneiro, temos duas proposições incompatíveis, cada uma das quais implica a outra. O Sim implica Não, que exige Sim e assim consecutivamente.

Isto pode não parecer lá muito importante, porém, de acordo com o pensamento de Russell, ameaçava os próprios fundamentos da matemática. A matemática russelliana é baseada no conceito dos conjuntos e a questão da inclusão (isto é, daquilo que pertence a um conjunto dado) é fundamental para essa ideia. A definição do Conjunto A parece ser razoável. A questão de saber se o Conjunto A pertence ou não a si mesmo também parece ser razoável. Todavia, nós teremos dificuldade em encontrar uma resposta racional para esta pergunta razoável. Desde modo, a matemática se achava em grandes dificuldades. Russell ponderou este dilema por mais de uma década, quase se exaurindo e arruinando pelo menos um de seus casamentos. Mas, finalmente, conseguiu uma resposta. Para isso, ele inventou o equivalente a um computador teórico (embora não lhe atribuisse tal nome). O “computador” de Russell é uma máquina lógica e implementa uma transformação lógica de cada vez, cada uma das quais requer um quantum de tempo portanto, as coisas não acontecem simultaneamente. Nossa questão sobre o Conjunto A é examinada de maneira ordenada. Russell liga o seu computador teórico (que, na falta de um computador verdadeiro, funcionava somente dentro de sua cabeça) e as operações lógicas são “executadas” uma por vez. Assim, em determinado ponto, nossa resposta é Sim, mas o programa continua rodando e, alguns quanta de tempo mais tarde, a resposta se transforma em Não. O programa roda em um arco infinito, constantemente alternando entre o Sim e o Não.

Mas a resposta nunca é Sim e Não ao mesmo tempo!

Ficou impressionado? Russell ficou muito satisfeito consigo mesmo. Eliminar a possibilidade de a resposta ser Sim e Não *ao mesmo tempo*, segundo sua maneira de pensar, foi o suficiente para salvar a matemática. Com o auxílio de seu amigo e antigo orientador acadêmico, Alfred North Whitehead, Russell re-desenvolveu toda a matemática em termos de sua nova Teoria dos Conjuntos e da Lógica, que publicaram conjuntamente em seu *Principia Mathematica*, em três tiragens, entre 1910 e 1913. Vale a pena chamar atenção para o fato de que o conceito de um computador, teórico ou de outra natureza, ainda não era amplamente entendido nessa época. Os esforços de Charles Babbage durante o século XIX, discutidos no Capítulo Quarto, eram em grande parte desconhecidos nessa época. Nunca ficou claro se Russell estava a par das tentativas de Babbage. Mas o trabalho revolucionário e altamente influente de Russell foi responsável pela invenção de uma teoria lógica da computação e transformou a condição da matemática para um de seus ramos. A partir de então, a matemática se tornou parte da computação.

Russell e Whitehead não falaram explicitamente a respeito de computadores, mas lançaram as ideias pertinentes na terminologia matemática da Teoria dos Conjuntos. Coube a Alan Turing criar o primeiro computador teórico, em 1936, a Máquina de Turing (veja nota 16 mais abaixo).

Veja a obra *Principia mathematica*, de Alfred N. Whitehead e Bertrand Russell, em 3 volumes, segunda edição (Cambridge: Cambridge University Press, 1925-1927). (A primeira edição foi publicada em três tiragens, em 1910, 1912 e 1913.) O Paradoxo de Russell foi introduzido pela primeira vez no livro *Principles of mathematics*, da autoria de Bertrand Russell (2 ed. Reprint. New York: W. W. Norton & Company, 1996, p. 79-81). O Paradoxo de Russell é uma versão mais sutil do Paradoxo do Mentiroso. Veja E. W. Beth, *Foundations of mathematics* (Amsterdam, North Holland, 1959, p. 485).

9. “Heuristic problem solving: the new advance in operations research”, *Journal of the Operations Research Society of America* (v. 6, n. 1, 1958), reimpresso por Herbert Simon em *Models of bounded rationality*, v. 1, Economic Analysis and Public Policy (Cambridge, MA: MIT Press, 1982).

10. “A mean chess-playing Computer tears at the meaning of thought” (*New York Times*, 19 Feb. 1996), relata as reações de Garry Kasparov e de um certo número de conhecidos pensadores com referência às ramificações da vitória de *Deep Blue* sobre o campeão mundial de xadrez.

11. BOBROW, Daniel. Natural language input for a Computer problem solving System. In: MINSKY, Marvin (Ed.). *Semantic information Processing*. Cambridge, MA: MIT Press, 1968. p. 146-226.

12. EVANS, Thomas. A program for the solution of geometric-analogy intelligence test questions. In: MINSKY, Marvin (Ed.). *Semantic information processing*. Cambridge, MA: MIT Press, 1968. p. 271-353.
 13. Robert Lindsay, Bruce Buchanan, Edward Feigenbaum e Joshua Lederberg descrevem DENDRAL em *Applications of artificial intelligence for Chemical inference: the DENDRAL Project* (New York: McGraw-Hill, 1980). Para uma explicação breve e clara dos mecanismos essenciais do DENDRAL, veja Patrick Winston, *Artificial intelligence* {1984, p. 163-164, 195-197}.
 14. Durante muitos anos SHRDLU foi citado como uma realização proeminente na área da Inteligência Artificial. Winograd descreve sua pesquisa em sua tese *Understanding natural language* (New York: Academic Press, 1972). Uma versão resumida aparece em “A procedural model of thought and language”, em Roger Schank e Kenneth Colby, editores, *Computer models of thought and language* (San Francisco: W. H. Freeman, 1973).
 15. FATMI, Haneef A. & YOUNG, R. W. A definition of intelligence. *Nature*, v. 228, p. 97, 1970.
 16. Alan Turing demonstrou que a base essencial da computação poderia ser modelada por uma máquina teórica bastante simples. Ele criou o primeiro computador teórico em 1936 (Inicialmente introduzido por Alan M. Turing em “On computable numbers with an application to the entscheidungs problem”, publicado em *Proceedings of the London Mathematical Society* (v. 42, p. 230-265, 1936), através de seu conceito epônimo denominado “Máquina de Turing”. Do mesmo modo que ocorreu com muitos dos avanços liderados por Turing, ele teria tanto a primeira como a última palavra da questão. A Máquina de Turing representou o fundamento da moderna teoria da computação. Também persistiu como nosso principal modelo teórico de um computador devido à sua simplicidade e potência.
- A Máquina de Turing é um bom exemplo da simplicidade dos fundamentos da inteligência. Uma Máquina de Turing é composta por duas unidades primárias (teóricas): um acionador de gravação em fita e uma unidade computacional. O acionador de fita possui uma fita de gravação de comprimento infinito em que pode ser escrita e, subsequentemente, lida uma série de dois símbolos: um e zero. A unidade de computação contém um programa consistindo de uma sequência de comandos, baseados em apenas sete operações possíveis:
- Leia a fita
 - Movimente a fita um símbolo para a esquerda
 - Movimente a fita um símbolo para a direita
 - Escreva 0 na fita

- Escreva 1 na fita
- Pule para outro comando
- Pare

Turing foi capaz de demonstrar que esta máquina extremamente simples poderia computar qualquer coisa que qualquer outra máquina fosse capaz de computar, não importando o seu grau de complexidade. Se um problema não puder ser resolvido por uma Máquina Turing, então não poderá ser resolvido por qualquer outra máquina. Ocasionalmente, surgem desafios a esta posição; todavia, ela basicamente resistiu ao teste do tempo.

No mesmo artigo, Turing relata outra descoberta inesperada, a saber, a existência de problemas insolúveis. Há problemas que são bem definidos com respostas exclusivas, que podem ser demonstrados como existentes, mas que podemos também provar que nunca poderão ser computados por uma Máquina Turing ou seja, por máquina alguma, o que demonstrou ser mais uma contradição da confiança demonstrada durante o final do século dezenove de que todos os problemas que pudessem ser definidos seriam finalmente resolvidos. Turing demonstrou que existem tantos problemas insolúveis quanto os há solúveis.

Turing e Alonzo Church, seu antigo professor, prosseguiram afirmando o que veio a ser conhecido como a Tese de Church-Turing: se um problema que pode ser apresentado a uma Máquina Turing não é solúvel por uma, então ele tampouco poderá ser resolvido pelo pensamento humano. As “interpretações fortes” da Tese de Church-Turing propõem uma equivalência essencial entre o que um ser humano pode pensar ou saber e aquilo que pode vir a ser computado por uma máquina. A Tese de Church-Turing pode ser encarada como uma re-proposição, dentro de termos matemáticos, de uma das teses primárias de Wittgenstein apresentadas em seu *Tractatus*. A ideia básica é a de que o cérebro humano se encontra sujeito às leis naturais e, desse modo, a sua capacidade de processamento de informações não pode exceder a de uma máquina. Deste modo somos colocados em uma situação de perplexidade em que somos capazes de definir um problema, demonstrar que existe uma resposta exclusiva para ele e, não obstante, saber que essa resposta jamais poderá tornar-se conhecida.

Talvez o mais interessante dos problemas insolúveis seja o denominado *Busy Beaver* [Castor Ocupado], que pode ser exposto da seguinte maneira: cada Máquina Turing possui um certo número de comandos em seu programa. Dado um inteiro positivo “n”, podemos construir todas as Máquinas Turing que possuam “n” estados (isto é, “n” comandos). A seguir, eliminamos aquelas Máquinas Turing em estado n que entram em um arco infinito (*infinite loop*, ou seja, que não param nunca). Finalmente, selecionamos a máquina (entre aquelas

capazes de parar) que é capaz de escrever o maior número de inteiros “ 1 ” em sua fita. O número de algarismos “ 1 ” que esta Máquina Turing for capaz de escrever será denominado o seu *busy beaver*.

Tibor Rado, um matemático admirador de Turing, demonstrou que não existe um algoritmo (um conjunto de instruções, portanto uma Máquina Turing) que possa computar a função *busy beaver* para todos os “n” possíveis. O ponto crucial do problema é classificar aquelas Máquinas Turing em estado “n” que poderão entrar em um arco infinito. Se programarmos uma Máquina Turing para gerar e simular cada Máquina Turing em estado “n” possível, este próprio simulador entrará em um arco infinito quando tentar a simulação de uma das Máquinas Turing em estado “n” que entra em um arco infinito. O *busy beaver* pode ser computado, portanto, para apenas alguns “n” e é interessante notar que também é um problema insolúvel separar quais sejam os “n” para os quais podemos determinar seu *busy beaver* daqueles para os quais não podemos.

O *Busy Beaver* é uma “função inteligente”. Declarado de uma forma mais precisa, é uma função que requer para sua computação um aumento constante de inteligência devido ao aumento constante de seus argumentos. A medida que aumentamos “n”, a complexidade dos processos necessários para computar o *busy beaver* de “n” também é aumentada.

Com $n = 6$, estamos lidando com uma adição simples e o *busy beaver* de 6 é igual a 35. Em outras palavras, a adição é a operação mais complexa que uma Máquina Turing, dispondo de apenas seis etapas operacionais em seu programa, é capaz de realizar. Com $n = 7$, o *busy beaver* aprende a multiplicar e, portanto, o *busy beaver* de 7 é igual a 22.961. Com $n = 8$, o *busy beaver* se torna capaz de potenciação e o número de inteiros “ 1 ” que nosso oitavo *busy beaver* é capaz de escrever em sua fita se torna aproximadamente 10^{41} . Observe que este crescimento é ainda mais rápido que o determinado pela Lei de Moore. No momento em que chegarmos a $n = 10$, será requerida uma notação exótica, em que encontramos uma série exponencial (10 na potência 10 na potência 10 etc.), cuja altura só pode ser determinada por outra “pilha” exponencial, a altura da qual é determinada por uma outra série de expoentes e assim por diante. Para o décimo segundo *busy beaver* precisamos de uma notação ainda mais exótica. A inteligência humana (em termos da complexidade de operações matemáticas que somos capazes de entender) é ultrapassada muito antes que o *busy beaver* chegue ao índice 100. E provável que os computadores do século XXI possam demonstrar uma capacidade um pouco maior.

O problema do *busy beaver* é um exemplo de uma grande classe de funções não computáveis, como se pode ver no artigo de Tibor Rado, “On noncomputable

functions”, publicado na revista *Bell System Technical Journal* (v. 41, n. 3, p. 877-884, 1962).

17. KURZWEIL, Raymond *The age of intelligent machines*. Cambridge, MA: MIT Press, 1990. p. 132133.

18. BERLINER, H. J. Backgammon Computer program beats world Champion. *Artificial Intelligence*, v. 14, n. 1, 1980. Veja também: BERLINER, Hans. Computer backgammon. *Scientific American*, Jun. 1980.

19. Para baixar o programa *Cybernetic Poet* de Ray Kurzweil (RKCP), acesse a página <<http://www.kurzweil.tech.com>>. O RKCP será discutido em maiores detalhes na seção “A máquina criativa”, do Capítulo 8, “1999”.

20. Veja a discussão destes programas de composição musical na seção “A máquina criativa”, do Capítulo 8, “1999”.

21. Veja W. S. Sarle, editor de “Neural network frequently asked questions”, em <ftp://ftp.sas.com/pub/natural/FAQ.html>. Esta página da Web possui numerosas informações a respeito da pesquisa anterior e presente sobre redes neurais. O artigo de G. E. Hinton, “How neural networks learn from experience”, publicado na edição de setembro de 1992 da *Scientific American* (p. 144-151), também fornece uma boa introdução ao entendimento das redes neurais.

22. Os pesquisadores da PROFIT, *Productivity from Information Technology Initiative* [Iniciativa da Produtividade a partir da Tecnologia de Informações], do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, estudaram a eficácia das redes neurais na compreensão da redação manuscrita. A PROFIT é financiada pela Escola Sloan de Administração do MIT. A missão assumida pela Iniciativa é a de estudar a maneira como os setores público e privado empregam a tecnologia de informações. Resumos de artigos práticos sobre esta e outras pesquisas sobre redes neurais e mineração de dados podem ser encontrados em <<http://scanner-group.mit.edu/papers.html>>.

23. “Miros, Inc. se localiza em Wellesley, Massachusetts, e se especializa no fornecimento de software para reconhecimento facial. Os produtos da Miros incluem *True Face PC*, a primeira solução para reconhecimento de rostos destinada à segurança de dados, redes e computadores; e *True Face GateWatch*, uma solução de segurança completa com hardware e software, que permite ou nega acesso a edifícios ou a salas através do reconhecimento automático do rosto de uma pessoa por meio de uma câmera de vídeo.” Transcrito da página Informações sobre a Companhia Miros, no endereço <http://www.miros.com/About_Miros.html>.

24. Para mais informações sobre a aptidão para diagnóstico de doenças da BrainMaker e para prever o índice Standard and Poor 500 para LBS

Management, veja a página da *Califórnia Scientific*, em [http://: www.calsci.com/](http://www.calsci.com/) >.

25. O tempo de reiniciação incluído aqui é a média estimada para os cálculos de conexões neurais. Por exemplo, Vadim Gerasimov estima que a frequência pico de ativação dos neurônios (que excede significativamente a frequência média) oscila entre 250 e 2.000 HZ (a intervalos de 0,5-4 milissegundos), em “Information processing in the human body”, <[http://:vadim.www.media.mit.edu/MAS862/Project.html](http://vadim.www.media.mit.edu/MAS862/Project.html)>. O tempo de ativação é afetado por numerosas variáveis, incluindo, por exemplo, a altura e a duração de um estímulo sonoro, conforme é discutido por J. Eggermont em “Firing rate and firing synchrony distinguish dynamic from steady State sound” (*NeuroReport*, v. 8, n. 12, p. 2709-2713).

26. Hugo de Garis mantém uma página na Web sobre suas pesquisas para o *Brain Builder Group* da ATR em <[http://:www.hip.atr.co.jp/~degaris/](http://www.hip.atr.co.jp/~degaris/)>.

27. Para um relato interessante sobre essa pesquisa, leia *Analog VSL1 and neural systems*, de Carver Mead (Reading, MA: AddisonWesley, 1989, p 257-278). O processo sináptico é brevemente salientado por Carol Levin em “Here’s looking at you” (*PC Magazine*, p. 31, 20 Dec. 1994). A página de Carver Mead também fornece informações detalhadas sobre esta pesquisa em “Physics of computation Carver Mead’s Group”, em <[http://:www.pcmp.caltech.edu/](http://www.pcmp.caltech.edu/)>.

28. O projeto SETI (*Search for Extraterrestrial Intelligence*) [Busca por Inteligência Extraterrestre] conduz pesquisas sobre quaisquer outros sinais de vida no Universo, embora seu alvo principal seja a identificação de inteligência extraterrestre. O instituto é uma organização de pesquisas sem fins lucrativos, financiado por agências governamentais, fundações e indivíduos particulares que, por sua vez, fornece subsídios para uma dúzia de projetos diferentes. Para maiores informações, veja o site do Instituto SETI: <[http://:www.seti.org](http://www.seti.org)>.

29. O autor está ditando porções deste livro para seu computador por meio do programa de reconhecimento de fala contínua denominado *Voice Xpress Plus*, produzido pela Divisão de Ditado da *Learning & Hauspie* (antigamente, *Kurzweil Applied Intelligence*). Para mais informações sobre o programa *Voice Xpress Plus*, veja a nota 9 do Capítulo 2.

30. Para obter maiores informações sobre a aquisição do controle acionário da *Advanced Investment Technology* por meio da compra pela companhia *State Street Global Advisor*, veja o artigo “State Street Global invests on artificial intelligence”, da autoria de Frank Byrt, publicado no *Dowjones Newswires* de 29 de outubro de 1997. O sistema de algoritmo genético empregado pelo Fundo de Previdência AIT Vision é descrito em “Financial forecasting using genetic

algorithms”, de S. Mahfood e G. Mani, publicado na revista *Applied Artificial Intelligence* (n. 10, p. 543-565, 1996). O Fundo de Previdência AIT Vision foi criado no começo de 1996 e seus índices de desempenho estão abertos à consulta pública.

Em seu primeiro ano de calendário completo (1996), o fundo aumentou o valor líquido de seus bens em 27,2%, em comparação com o índice Russell 3000 padrão, que cresceu 21,2%.

Deve ser observado que um melhor desempenho que o de seu índice padrão não demonstra em si mesmo um nível superior de tomada de decisões. O algoritmo pode simplesmente estar fazendo investimentos de risco mais elevado (em média) que a média das decisões do índice.

31. Existem muitos recursos disponíveis em linha sobre a computação evolutiva e os algoritmos evolutivos e genéticos. Um dos melhores é “The hitchhikeris guide to volutionary computation: a list of frequently asked questions (FAQ)”, editado por Jörg Heitkötter e David Beasley e disponível em <<http://www.cs.purdue.edu/coast/archive/clife/FAQ/www/>>. Este guIA inclui todos os elementos necessários, desde um glossário até links com diversos grupos de pesquisa.

Outro recurso *on-line* útil é a página do Santa Fe Institute, que pode ser acessada em <<http://www.santafe.edu>>.

Para uma introdução *off-line* aos algoritmos genéticos, leia o artigo “Genetic algorithms” de John Holland (*Scientific American*, v. 267, n. 1, p. 66-72, 1992). Conforme foi mencionado na nota 22 do Capítulo 1, Holland e seus colegas da Universidade de Michigan desenvolveram os algoritmos genéticos durante a década de 1970.

Para mais informações sobre o uso da tecnologia dos algoritmos genéticos na administração do desenvolvimento e manufatura dos caminhões Volvo, leia o artigo de Srikumar S. Rao, “Evolution at warp speed” (*Forbes*, v. 161, n. 1, p. 82-83, 12 Jan. 1998).

Veja também a nota 22 sobre a complexidade, no Capítulo 1.

32. Veja “Information processing in the human body”, por Vadim Gerasimov, em <<http://vadim.www.medIA.mit.edu/MAS862/Project.html>>.

33. Veja “Information processing in the human body”, por Vadim Gerasimov, em <<http://vadim.www.medIA.mit.edu/MAS862/Project.html>>.

34. Eu fundei a companhia Kurzweil Applied Intelligence (Kurzweil AI) em 1982. A companhia tornou-se agora uma subsidiária de Learnout & Hauspie Speech Products (L&H), líder internacional no desenvolvimento de tecnologias de fala e linguagem e aplicações e produtos a elas relacionadas. Para maiores

informações sobre estes produtos de reconhecimento de fala, consulte a página <<http://www.lhs.com/dictation/>>.

CAPITULO 5: CONTEUDO E CONHECIMENTO

1. YU, Victor L., FAGAN, Lawrence M., WRAITH, S. M., CLANCEY, William, SCOTT, A. Carlisle, HANNIGAN, John, BLUM, Robert, BUCHANAN, Bruce & COHEN, Stanley. Antimicrobial selection by Computer: a blinded evaluation by infectious disease experts. *Journal of the American Medical Association*, v. 242, n. 12, p. 1279-82, 1979.
2. Para uma introdução ao desenvolvimento dos sistemas especialistas e seu emprego em várias companhias, leia *The rise of the expert company*, de Edward Feigenbaum, Pamela McCorduck e Penny Nii (Reading, MA: AddisonWesley, 1983).
3. MARTIN, William, CHURCH Kenneth & Ramesh Patil. Preliminary analysis of a breadth-first parsing algorithm: theoretical and experiential results. Laboratório de Ciência da Computação do MIT. Cambridge, MA, 1981. Neste documento, Church apresenta a seguinte sentença: O problema “Foi o número de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos?” possui 1.430 interpretações sintáticas corretas. Ele apresenta ainda a seguinte sentença: “Qual número de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos foi o número de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos de produtos?” que indica possuir $1.430 \times 1.430 = 2.044.900$ interpretações.
4. Estes e outros aspectos da linguística computacional são tratados por Mary D. Harris em *Introduction to natural language processing* (Reston, Virginia: Reston Publishing Company, 1985).

CAPITULO 6: CONSTRUINDO NOVOS CEREBROS...

1. E provável que Hans Moravec apresente esse argumento em seu livro de 1998: *Robot: mere machine to transcendent mind* (Oxford University Press: ainda não disponível no momento em que este livro foi escrito).
2. Cento e cinquenta milhões de cálculos por segundo são executados por um computador pessoal de 1998, uma capacidade que deverá dobrar 27 vezes até

2025 (isto presume que sejam dobrados tanto o número de componentes como a velocidade de cada componente a cada dois anos) totalizando 20 quatrilhões de cálculos por segundo. Em 1998, são necessários cálculos múltiplos em um computador pessoal convencional para simular um cálculo de conexão neural. Todavia, por volta de 2020, os computadores terão sido otimizados para cálculos de conexão neural (e outros cálculos altamente repetitivos necessários para simular as funções neurônicas). Observe que os cálculos de conexão neural são mais simples e mais regulares do que os cálculos normais para propósitos gerais de um computador pessoal.

3. Cinco milhões de bits por mil dólares americanos de 1998 terão sido dobrados 17 vezes até mais ou menos 2023, o que representará aproximadamente 1 quatrilhão de bits por mil dólares de 2023.

4. O objetivo da NEC de construir um supercomputador com um desempenho máximo de mais de 32 teraflops está relatado no artigo “NEC begins designing world’s fastest Computer” (*Newsbytes News NetWork*, 21 Jan. 998), que pode ser localizado na página <http://www.nb-pacifica.com/headline/necbeginsdesigningwo_1208.shtml>.

Em 1998, a IBM foi uma dentre quatro companhias escolhidas para participar do *PathForward* [Caminho para a Frente], uma iniciativa do Ministério da Energia norte-americano para o desenvolvimento de supercomputadores para o século XXL. As outras três companhias envolvidas no projeto são a Digital Equipment Corporation, a Sun Microsystems, Inc. e a Silicon Graphics/Cray Computer Systems (SGI/Cray). A *PathForward* é uma divisão da ASCI, *Accelerated Strategic Computing Initiative* [Iniciativa para Computação Estratégica Acelerada], Para maiores informações a respeito desta iniciativa, veja <<http://www.llnl.gov/asci>>.

5. Ao atrelar o movimento de aceleração tanto em densidade como em velocidade de componentes, o poder de computação irá dobrar a cada 12 meses, ou seja, um fator de mil a cada dez anos. Com base na projeção de que mil dólares de poder computacional serão iguais ao poder de processamento do cérebro humano (20 trilhões de operações por segundo), até mais ou menos 2020, então poderemos fazer uma projeção de que mil dólares de poder computacional se tornarão iguais ao poder de processamento de 1 milhão de cérebros humanos em 2040, ao poder de processamento de 1 bilhão de cérebros humanos em 2050 e ao poder de processamento de 1 trilhão de cérebros humanos em 2060.

6. Por volta de 2099, mil dólares de poder computacional serão iguais a 10^{24} vezes o poder de processamento do cérebro humano. Com base em uma estimativa de 10 bilhões de seres humanos vivendo nessa época, isso

corresponderá a 10^{14} vezes o poder de processamento do total de cérebros humanos. Em outras palavras, o valor correspondente a um centavo de dólar em poder de computação corresponderá a 10^9 (um bilhão) de vezes o poder de processamento de todos os cérebros humanos então existentes.

7. Nas Teorias de Equilíbrio Pontilhado, encara-se a evolução como progredindo em saltos súbitos, seguidos por períodos de relativa estabilidade. É interessante observar que, frequentemente, observamos um comportamento similar no desempenho dos algoritmos evolutivos (veja Capítulo 4).

8. TAKAHASHI, Dean. Small firms jockeying for position in 3D chip market. *Knight-Ridder/Tribune News Service*, p. 0921K4365, 21 Sept. 1994.

9. A edição completa de fevereiro de 1998 de *Computer* (v. 31, n. 2) explora a situação presente dos métodos de computação e de armazenagem ótica.

Sunny Bains escreveu sobre companhias que já utilizavam a computação ótica para reconhecimento de impressões digitais e de outras aplicações em “Small, hybrid digital/electronic optical correlators ready to power commercial products: optical computing comes into focus” (*EE Times*, n. 990, 26 Jan. 1998). Este artigo também se acha disponível on-line e pode ser acessado no endereço <<http://www.techweb.com/se/directlink.cgi?EET19980126S0019>>.

10. Para uma introdução não técnica à computação do DNA, leia Vincent Kiernan, “DNA-based computers could race past supercomputers, researchers predict”, publicado *The Chronicle of Higher Education* (28 Nov. 1997). Kiernan discute aqui as pesquisas do dr. Robert Corn, da Universidade de Wisconsin, juntamente com as pesquisas do dr. Leonard Adleman. O artigo pode ser acessado on-line na página <<http://chronicle.com/data/articles.dir/art-44.dir/issue-14.dir/14a02301.html>>.

As pesquisas realizadas na Universidade de Wisconsin podem ser acessadas on-line em <http://corninfo.chem.wisc.edu/writings/DNAcomputing.html>

Leonard Adleman, em “Molecular computation of Solutions to combinatorial problems”, da edição de 11 de novembro de 1994 de *Science* (v. 266, p. 1.021), fornece uma revisão técnica geral de seu projeto de programação em DNA para computadores.

11. As pesquisas de Lambertus Hesselink são relatadas por Phillip E. Schewe e Ben Stein em *Physics News Update* (n. 219, 28 Mar. 1995). A sua descrição está disponível on-line em <<http://www.aip.org/enews/physnews/1995/split/pnu219-2.html>>.

12. Para informações sobre nanotubos e *buckyballs*, leia o artigo de Janet Rae-Dupree, “Nanotechnology could be foundation for next mechanical revolution” (*Knight-Ridder/Tribune News Service*, p. 1217K1133, 17 Dec. 1997).

13. As pesquisas do dr. Sumio Iijima sobre nanotubos são resumidas no seguinte artigo disponível na página da NEC em <<http://www.labs.nec.co.jp/rdletter/letter01/index1.html>>.
14. As pesquisas de Isaac Chuang e Neil Gershenfeld são relatadas em “Cue the qu-bits: quantum computing” (*The Economist*, v. 342, n. 8005, p. 91-92, 22 Feb. 1997); e também em um artigo da autoria de Dan Vergano: “Brewing a quantum Computer in a coffee cup” (*Science News*, v. 151, n. 3, p. 37, 18 Jan. 1997). Mais detalhes técnicos e uma lista das publicações de Chuang e Gershenfeld podem ser encontrados na página do Grupo de Física e Meios de Comunicação do Laboratório de Meios de Comunicação do MIT, <<http://physics.www.medIA.mit.edu/publications/>>; e também na página do Laboratório Nacional de Los Alamos, <<http://qso.lanl.gov/qc/>>. Outros grupos que também se encontram trabalhando na área de computação quântica, incluindo o *Information Mechanics Group*, cujo trabalho se acha disponível na página do Laboratório de Ciências da Computação do MIT, <<http://www.-im.lcs.mit.edu/>>; e no *Quantum Computation Group* da IBM, <<http://www.research.IBM.com/quantuminfo/>>.
15. Student cracks encryption code. *USA Today Tech Report*, 2 Sept. 1997.
16. BUCHANAN, Mark. Light’s spooky connections set distance record. *New Scientist*, 28 Jun. 1997.
17. PENROSE, Roger. *The emperor’s new mind*. New York: Penguin USA, 1990.
18. Para compreender o conceito do tunelamento, é importante compreender como funcionam os transistores em uma placa de circuitos integrados. Uma placa de circuitos integrados recebe a gravação de circuitos compostos por milhares ou até milhões de transistores, cujos dispositivos eletrônicos são empregados para controlar o fluxo de eletricidade. Os transistores são formados por pequenos blocos de um semicondutor, um material que age tanto como isolador e condutor de eletricidade. Os primeiros transistores foram construídos com cristais de germânio, que logo foi substituído por sílica, cuja obtenção é muito mais fácil.
Os transistores funcionam através da conservação de um padrão de cargas elétricas, permitindo a esse padrão de cargas modificar-se milhões de vezes por segundo. O tunelamento se refere à habilidade demonstrada pelos elétrons (pequenas partículas que circulam ao redor do núcleo de um átomo) de movimentar-se ou “cavar túneis” através da sílica. Diz-se que os elétrons são capazes de escavar túneis através da barreira como resultado da incerteza quântica, no que se refere a que lado da barreira é aquele em que, de fato, se encontram.

19. Os blocos de conhecimento seriam maiores do que o número de palavras distintas porque as palavras são usadas em mais de uma forma e empregadas em mais de um sentido. Cada significado ou utilização diferente de uma palavra é geralmente referido como um “sentido” da palavra. É provável que Shakespeare tenha usado mais do que cem mil sentidos de palavras.
20. Citado de Douglas R. Hofstadter, em seu livro *Gödel, Escher, Bach: an etemal golden hraid* (New York: Basic Books, 1979).
21. WINERIP, Michael. SchizophrenIA’s most zealous foe. *New York Sunday Times*, 22 Feb. 1998.
22. O objetivo do *Visible Human Project* [Projeto da Visibilidade Humana] é o de criar visões tridimensionais altamente detalhadas dos corpos humanos, masculino e feminino. O projeto está coletando imagens em TC (tomografia computadorizada) transversal, MRI (imagem por ressonância magnética) e crioecção. A página da Web do Projeto da Visibilidade Humana está localizada em <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html>.
23. Os pesquisadores Mark Hübener, Doron Shoham, Amiram Grinwald e TobIAs Bonhoeffer publicaram suas Experiências sobre imagens óticas em “SpatIAI relationships among three columnar Systems in CAT area 17” (*Journal of Neuroscience*, v. 17, p. 9.270-9.284, 1997).
Mais informações sobre estas e outras pesquisas de imagens cerebrais podem ser localizadas na página do Instituto Weizmann, <<http://www.weizmann.ac.il/>>; ou na página de Amiram Grinwald, em <<http://www.weizmann.ac.il/brain/grinvald/grinvald.html>>.
24. O trabalho do dr. Benebid e sua equipe de pesquisadores está resumido em um artigo on-line intitulado “Neural prosthetics come of age as research continues”, da autoria de Robert Finn, publicado em *The Scientist* (v. 11, n. 19, p. 13, 16, 29 Sept. 1997). Este artigo também pode ser encontrado na página da Web <http://www.the-scientist.library.upenn.edu/yr1997/sept/research_970929.html>.
25. De uma entrevista por telefone conduzida pelo autor com o dr. Trosch, em abril de 1988.
26. As pesquisas do dr. Rizzo também são referidas no artigo de Robert Finn citado anteriormente, “Neural prosthetics come of age as research continues”.
27. Para ler mais a respeito do “transistor neurônico”, visite a página Web do *Memhrane and Neurophysics Department* do Instituto Max Planck de Bioquímica, <<http://mnphys.biochem.mpg.de/>>.
28. FINN, Robert. Neural prosthetics come of age as research continues. *The Scientist*, v. 11, n. 19, p. 13, 16, 29 Sept. 1997.
29. As pesquisas de Carver Mead são descritas em

<<http://www.pcmp.caltech.edu/>>.

30. YEATS, W. B. *Sailing to Byzantium*, apud ROSENTHAL, M. L. (Ed.). *Selected poems and two plays of William Butler Yeats*. New York: Macmillan, 1966.

CAPITULO 7: ... E CORPOS

1. Herbert Dreyfus é bem conhecido por sua crítica da inteligência artificial em seu livro *What computers can't do: the limits of artificial intelligence* (New York: Harper & Row, 1979). Entre outros teóricos que podem ser considerados como partidários do ponto de vista de que a mente vai além da máquina, encontram-se J. R. Lucas e John Searle. Veja o artigo de J. R. Lucas, "Minds, machines, and Gödel" (*Philosophy*, v. 36, p. 120-124, 1961); e o artigo de John Searle, "Mind, brains, and programs" (*The Behavioral and Brain Sciences*, v. 3, p. 417-424, 1980). Veja também o livro mais recente de Searle, *The rediscovery of the mind* (Cambridge, MA-, MIT Press, 1992).

2. "Pesquisadores liderados pelo dr. Clifford Steer, da Escola de Medicina da Universidade de Minnesota, relatam, no último exemplar de *Nature Medicine*, que eliminaram a necessidade do emprego de vírus ao atrelarem os próprios processos genéticos de reparação do organismo. Em uma notável Experiência de prova-de-conceito, a equipe de Minnesota alterou permanentemente um gene de coagulação do sangue em 40% das células hepáticas de um grupo de ratos. Os pesquisadores iniciaram dividindo o seu DNA de modo a isolar o RNA. Então eles envolveram a molécula híbrida em uma capa protetora formada parcialmente por moléculas de glicídios que buscam normalmente as células do fígado e a injetaram em ratos de laboratório. De acordo com o planejamento, as moléculas híbridas se dirigiram diretamente ao gene alvejado e se alinharam ao redor dele. Uma enzima naturalmente existente nas próprias células hepáticas dos ratos cumpriu o restante da tarefa: sempre que localizava uma porção de DNA que não correspondia ao que fora injetado, simplesmente removia o DNA 'ofensor' e colocava em seu lugar o substituto. O próximo passo agora é demonstrar que vai funcionar em outros tipos de tecido ou em outras espécies." Transcrito do artigo "DNA therapy: the new, virus-free way to make genetic repairs" (*Time*, 16 Mar. 1998).

3. MORAVEC, Hans. *Mind children: the future of robot and human intelligence*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988. p. 108.

4. Os comentários de Ralph Merkle sobre a nanotecnologia podem ser encontrados nas considerações gerais de sua página da Web, localizada no site

do Centro Xerox de Pesquisas de Paio Alto, em <http://sandbox.xerox.com/nano>>. Esta página contém elos para importantes publicações sobre nanotecnologia, tais como a palestra proferida em 1959 por Richard Feynman e a dissertação de Eric Drexler, do mesmo modo que outros *links* para diversos centros de pesquisa enfocados no estudo e emprego da nanotecnologia.

5. Richard Feynman apresentou estas ideias a 29 de dezembro de 1959, durante a reunião anual da *American Physical Society* realizada no CalTech (Instituto de Tecnologia da Califórnia). Sua conferência foi publicada pela primeira vez na edição de fevereiro de 1960 da revista *Engineering and Science* da CalTech. Em forma de artigo, encontra-se disponível on-line em <http://nano.xerox.com/nanotech/feynman.html>>.

6. DREXLER, Eric. *Engines of creation*. New York: Anchor Press/Doubleday, 1986. Este livro também pode ser acessado on-line na página da Xerox sobre nanotecnologia, <http://nano.xerox.com/nano>>; e também na própria página de Drexler no *Foresight Institute*, <http://www.foresight.org/EOC/index.html>>.

7. DREXLER, Eric. *Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation*. New York: John Wiley & Sons: 1992.

8. De acordo com a página da Web da Nanothinc, <http://www.nanothinc.com/>>, “a nanotecnologia, definida de forma ampla para incluir um grande número de atividades e disciplinas relacionadas com a nanoescala, é uma indústria global, na qual mais de 300 companhias geram hoje uma renda de mais de 5 bilhões anuais de fato, 24 bilhões nos últimos quatro anos.” A Nanothinc inclui em sua página uma lista de companhias com suas respectivas rendas, sobre a qual embasou os algarismos fornecidos supra. Algumas das nanoaplicações que geram tais rendas são micromáquinas, sistemas microeletromecânicos, autonanoduplicação, nanolitografia, ferramentas de nanotecnologia, microscopia de sondas de esquadrinamento, software em geral, matérias em nanoescala e materiais em nanofase.

9. As publicações e as pesquisas de Richard Smalley sobre a nanotecnologia podem ser encontradas no website do Centro de Ciência e Tecnologia Nanotecnológica da Rice University, em <http://cnst.rice.edu/>>.

10. Para informações sobre o emprego da nanotecnologia na criação do logotipo corporativo da IBM, leia o artigo de Faye Fiam: *Tiny instrument has big implications*, publicado em *Knight-Ridder/Tribune News Service* a 11 de agosto de 1997, p. 0811K7204.

11. O dr. Jeffrey Sampsell, da Texas Instruments, escreveu um artigo de publicação e difusão livre em que resume as pesquisas sobre microespelhos,

disponível no seguinte endereço eletrônico: [http://: www.ti.com/dlp/docs/it/resources/white/overview/over.shtml](http://www.ti.com/dlp/docs/it/resources/white/overview/over.shtml)>.

12. Uma descrição das máquinas voadoras pode ser encontrada no website dos MEMS (*MicroElectricalMechanical Systems*) [Sistemas microeletricomecânicos] e no *Fluid Dynamics Research Group* [Grupo de Pesquisas sobre Dinâmica Fluida] da UCLA (Universidade da Califórnia em Los Angeles), em <[http://: ho.seas.ucla.edu/new/main.html](http://ho.seas.ucla.edu/new/main.html)>.

13. A pesquisa da Xerox sobre nanotecnologia é descrita no artigo de BrIAn Santo intitulado “Smart matter program embeds intelligence by combining sensing, actuation, computation Xerox builds on sensor theory for smart materiais” (*EETimes*, p. 129, 23 Mar. 1998). Mais informações sobre esta pesquisa podem ser encontradas no website do *Smart Matter Research Group* [Grupo de Pesquisas sobre Matéria Inteligente], no Xerox’s Paio Alto Research Center [Centro Xerox de Pesquisas de Paio Alto], <[http://:www.parc.xerox.com/spl/projects/smart-matter/](http://www.parc.xerox.com/spl/projects/smart-matter/)>.

14. Para informações sobre o uso da nanotecnologia na criação da nanoguitarra, leia o artigo de Faye FIAm “Tiny instrument has big implications” (*Knight-Ridder/Tribune News Service*, p. 0811K7204, 11 Aug. 1997).

15. Saiba mais sobre a região de Chelyabinsk visitando o website dedicado a ajudar os habitantes dessa região, em <[http://:www.logTV.com/chelya/chel.html](http://www.logTV.com/chelya/chel.html)>.

16. Para mais detalhes sobre a história por trás do *Space War*, veja o artigo “A history of Computer games” (*Computer Gaming World*, p. 16-26, Nov. 1991); e RAYMOND, Eric S. (Ed.). *New hacker’s dictionary*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992. O *Space War* foi desenvolvido por Steve Russell, em 1961, e implementado por ele próprio em PDP-1 no ano seguinte, no MIT.

17. MedicaI Learning Company é uma iniciativa conjunta da American Board of Family Practice [Comissão Americana de Médicos de Família] (uma organização que certifica os 60 mil médicos familiares nos Estados Unidos, que atendem os pacientes em suas residências) e da Kurzweil Technologies. O objetivo desta companhia é o de desenvolver software educativo para educação médica contínua, destinada tanto a médicos como a outros mercados. Um aspecto-chave desta tecnologia incluirá um paciente interativo simulado que poderá ser examinado, entrevistado e tratado.

18. O conceito de *Utility Fog* de Hall é descrito nos artigos de J. Storrs Hall: “Utility Fog Part i” (*Extropy* 13, v. 6, n. 2, primeiro trimestre 1994); e “Utility Fog Part li” (*Extropy*, 14, v. 7, n. 1, primeiro trimestre 1995). Veja também o artigo de Jim Wilson, “Shrinking micromachines: a new generation of tools will

make molecular-size machines a reality” {*Popular Mechanics*, v. 174, n. 11, p. 55-58, Nov. 1997).

19. YIM, Mark. Locomotion with a unit-modular reconfigurable robot. Stanford University Technical Report STAN-CS-TR-95-1536.

20. Joseph Michael, Patente britânica n^B 94004227.2.

21. Para exemplos de antigas publicações de textos “prurientes”, veja *A history of erotic literature*, de PatrickJ. Kearney (Hong Kong, 1982), e *History laid hare*, de Richard Zachs (New York; HarperCollins: 1994).

22. *Upside Magazine*, abril de 1998.

23. Por exemplo, o “TFUI” {*Touch-and-Feel User Interface*) [Interface de Tato e Sensação para Usuário], produzido pela Pixis, é utilizado em sua série de CD-ROMs intitulada *Diva and Space Sirens* [Diva e as SereIAs EspacIAis].

24. Do artigo “Who needs jokes? Brain has a ticklish spot”, de Malcolm W. Browne (*New York Times*, 10 Mar. 1998). Veja também I. Fried (com colaboração de C. L. Wilson, K. A. MacDonald e E. J. Behnke), “Electric current stimulates laughter” {*Scientific Correspondence*, v. 391, p. 650, 1998).

25. BLUM, K. *et al.* Reward deficiency syndrome. *American Scientist*, Mar.-Apr. 1996.

26. *Brain Generated Music* [Música gerada pelo cérebro] é uma tecnologia patenteada pela NeuroSonics, uma pequena companhia de Baltimore, Maryland. O fundador, executivo principal e principal desenvolvedor desta tecnologia é o dr. Geoff Wright, chefe do Departamento de Música Computadorizada do Conservatório Peabody.

27. Para detalhes sobre o trabalho do dr. Benson, veja seu livro *The relaxation response* (New York: Avon, 1990).

28. God spot is found in the brain. *Sunday Times* (Grã-Bretanha), 2 Nov. 1997.

CAPITULO 8: 1999

1. O Portal para Diretórios de Informação referentes ao ano 2000 do Governo Federal dos Estados Unidos, localizado em <<http://www.itpolicy.gsa.gov/mks/yr2000/Y2Khome.html>>, contém grande número de links para webpages devotadas a problemas Y2K. Há também muitos grupos de discussão na Web em torno do tópico Y2K. Simplesmente navegue em busca de “Y2K discussion” usando um minerador de dados com Yahoo (www.yahoo.com), a fim de encontrar um grande número de páginas da rede devotadas a este assunto.

2. David Cope fala a respeito de seu Programa EMI em seu livro *Experiments in*

musical intelligence (Madison, Wisconsin: A-R Editions, 1996). A EMI também é discutida no artigo “Artificial genius”, de Margaret Boden (revista *Discover*, Out. 1996).

3. Para mais informações a respeito do programa Improvisor, veja o artigo “.Artificial genius”, de Margaret Boden (revista *Discover*, Out. 1996). O artigo se refere à questão de quem é o verdadeiro criador da arte original produzida pelos programas de computador o desenvolvedor do programa ou o próprio programa?

4. FLYNN, Laurie. Program proves bad puns not limited to humans. *New York Times*, 3 Jan. 1998.

5. “O ParaMind copia qualquer texto que você digitar ou colar em sua tela e sistematicamente adiciona novas palavras em seu texto. Todas as palavras são relacionadas, tais como adjetivos correspondentes à visão ou advérbios relativos ao andar. No texto que você digitar ou colar, uma palavra ou duas serão selecionadas para os locais em que estas novas palavras se encaixem, da maneira que você quiser ou determinar. O resultado será uma nova lista de suas ideias modificadas em diversas maneiras fascinantes.” Transcrito da página da companhia ParaMind Brainstorming Software, localizada em <<http://www.paramind.net/>>. Para mais informações sobre outros programas de redação, veja a página de Marius Watz denominada Computer Generated Writing, localizada em <<http://www.notam.uio.no/~mariusw/c-g.writing/>>.

6. Mais informações sobre BRUTUS.I History Generator e seus inventores podem ser encontradas em <<http://www.rpi.edu/dept/ppcs/BRUTUS/brutus.html>>.

7. O *Ray Kurzweil's Cybernetic Poet (RKCP)* é um programa de software projetado por Ray Kurzweil e desenvolvido pela companhia Kurzweil Technologies. Você pode baixar uma cópia do programa no endereço <<http://www.kurzweiltech.com>>.

8. Para exemplos das criações artísticas das Mutator, visite o website da Computer Artworks, no endereço <<http://www.artworks.com.uk/welcome.html>>. Karl Sims escreveu diversos artigos sobre seu trabalho, inclusive “Artificial evolution for Computer graphics” (*Computer Graphics*, v. 25, n. 4, p. 319-328, Jul. 1991).

9. Desenhos e pinturas executados por “Aaron”, o artista cibernético de Harold Cohen, foram expostos na Galeria Tate de Londres, no Museu Federal de Amsterdam, no Museu de Brooklyn, no Museu de Arte Moderna de San Francisco e no Museu das Crianças do Capitólio de Washington, além de outros estabelecimentos.

10. COHEN, Harold. How to draw three people in a botanical garden. AAAI-88, *Proceedings of the Seventh National Conference on Artificial Intelligence*, p. 845-855, 1988. Algumas das implicações do programa “Aaron” são discutidas por Pamela McCorduck em “Artificial intelligence: an aperçu”, publicado na revista *Daedalus* (p. 65-83, Inverno 1988).
11. Uma lista de *sites* em que o “Aaron” de Cohen é aplicado pode ser encontrada no endereço <http://www.umcs.maine.edu/~larry/latour/aaron.html>>. Veja também o artigo de Harold Cohen em *Constructions of the Mind*, disponível em seu endereço eletrônico <<http://shr.Stanford.edu/shreview/4-2/text/Cohen.html>>.
12. KURZWEIL, Raymond. *The age of intelligent machines*. Cambridge, MA: MIT Press, 1990. Veja também a seção de publicações da página da Kurzweil Technologies, <<http://www.kurzweiltech.com>>, e a seção de publicações da página da Kurzweil Educational Systems, <<http://www.kurzweilededu.com>>.
13. O termo *venture capital* se refere a fundos disponíveis para investimentos por organizações que reuniram fundos de capital de fontes diversas especificamente para investir em companhias envolvidas, principalmente, em novas iniciativas. *Angel capital* se refere a fundos disponibilizados para investimentos de risco por redes de investidores abastados interessados em investimentos de risco destinados ao financiamento de novas companhias. Nos Estados Unidos, tanto o *venture capital* como o *angel capital* vêm enfatizando investimentos de alta tecnologia.
14. Para uma lista abrangente dos projetos de pesquisa e dos produtos disponíveis para reconhecimento de fala e de rosto, dirija-se à *The Face Recognition Home Page* em <<http://cherry.kist.re.kr/center/html/sites.html>>.
15. Para uma excelente revisão geral sobre este assunto, veja “The intelligent vehicle initiative: advancing ‘human-centered’ smart vehicles”, da autoria de Cheryl Litde, do Volpe National Transportation Systems Center [Centro Nacional Volpe para Sistemas de Transporte]. Este artigo encontra-se disponível na página do Turner-Fairbanks Highway Research Center [Centro de Pesquisas Rodoviárias Turner-Fairbanks], em <<http://www.tfhrc.gov/pubrds/pr97-10/pl8.html>>. Para detalhes sobre os testes realizados na Rodovia Interestadual 15 da Califórnia, veja a página <<http://monolith-mis.com/ahs/default.html>> do National HTS Consortium.
16. Por exemplo, o programa Voice Xpress Plus, da Divisão de Ditado da companhia Learnout & Hauspie (antigamente Kurzweil Applied Intelligence ou Inteligência Aplicada Kurzweil) combina reconhecimento de fala contínua de grande vocabulário para ditado com compreensão de comandos em linguagem

natural. O reconhecimento de fala contínua sem compreensão de comandos em linguagem natural (incluído a partir de 1998) também se encontra disponível no programa *Dragon System's Naturally Speaking* e no programa ViaVoice da IBM.

17. Exemplos de produtos tradutores incluem o programa, *TI Professional* baseado no dicionário alemão-inglês Langenscheidt, produzido pela Gesellschaft für Multilinguale Systeme [Sociedade de Sistemas Multilíngües], uma divisão da Learnout & Hauspie Speech Products [Produtos Lingüísticos Learnout & Hauspie]; e também o Globalink Power Translator [Tradutor Potente de Ligação Global] e o programa clássico do Windows, denominado SYSTRAN.

18. BYTHELL, Duncan. *The handloom weavers: a study in the English cotton industry during the Industrial Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press, 1969. p. 70. Há também um grande número de *web sites* explorando tanto a história original do movimento ludita como o movimento neoludita contemporâneo. Como exemplo, veja a página da Web intitulada *Luddites On-Line*, no endereço <<http://www.luddites.com/index2.html>>.

19. *The statistical history of the United States from colonial times to the present*, Ben J. Wattenberg, editor, publicado pelo Ministério do Comércio dos Estados Unidos, Escritório do Recenseamento, *Statistical Abstract of the United States*, 1997.

20. WATTENBERG, Ben J. (Ed.) *The statistical history of the United States from colonial times to the present*.

21. U.S. Department of Commerce, Bureau of the Census. *Statistical abstract of the United States*, 1997.

22. O *Manifesto Unabomber* de Ted Kaczynski foi publicado tanto no *New York Times* como no *Washington Post*, em setembro de 1995. O texto completo do documento está disponível em inúmeras páginas da Web, inclusive <<http://www.soci.niu.edu/~critcrim/uni/uni/txt>>.

CAPITULO 9: 2009 ^{1}

Vendido especialmente à aeronáutica para ser empregado por pilotos. O executivo principal da Microvision, Richard Rutkowski, projeta uma versão em nível de consumidor privado, a ser construída sobre uma única placa de transistores e posta à venda por volta do ano 2000.

4. Esta projeção foi feita a partir da velocidade atual dos computadores pessoais,

em que um computador pessoal de 1998 pode executar cerca de 150 milhões de instruções por segundo, por cerca de mil dólares, a preço corrente do mercado. Dobrando esta capacidade a cada 12 meses, podemos chegar a um projeção de 150 mil multiplicados por 2^{11} (2.048), igual a 300 bilhões de instruções por segundo em 2009. Instruções requerem menos energia do que cálculos, de modo que a capacidade de cálculos ficará mais ou menos em 100 bilhões por segundo. Entretanto, projetando a partir da velocidade dos computadores neurais, um computador neural de 1997 era capaz de realizar cerca de 2 bilhões de cálculos de conexões neurais por segundo, por 2 mil dólares, o que corresponde a 1 bilhão de cálculos pelo preço de mil dólares. Se dobrar a cada 12 meses, obteremos uma projeção de $1.000.000.000 \times 2^{12}$ (4.096), que é igual a 4 trilhões de cálculos por segundo, em 2009. Ainda em 2009, os computadores rotineiramente combinarão os dois tipos de computação de tal forma que, mesmo que apenas 2 5 % das computações sejam do tipo de cálculo de conexão neural, a estimativa de 1 trilhão de cálculos por segundo ao custo de mil dólares em 2009 é bastante razoável.

5. Os supercomputadores mais poderosos da atualidade são 20 mil vezes mais poderosos que um computador pessoal adquirido por mil dólares. Uma vez que os computadores pessoais no valor de mil dólares fornecerão cerca de 1 trilhão de cálculos por segundo (particularmente os que forem do tipo de computação vIA conexão neural), em 2009, os supercomputadores mais poderosos fornecerão, aproximadamente, 20 quadrilhões de cálculos por segundo, o que corresponde aproximadamente ao poder de processamento calculado para o cérebro humano.

6. No momento em que este livro estava sendo escrito, já havia muita publicidade em torno do trabalho do dr. Judah Folkman, no Hospital Infantil de Boston, Massachusetts, e dos efeitos dos inibidores de angiogênese. Em particular, a combinação de endostatina e angiostatina, medicamentos criados por bioEngenharia que inibem a reprodução dos capilares, se haviam demonstrado notavelmente eficazes em ratos. Embora tenham surgido muitos comentários chamando a atenção para o fato de que drogas medicamentosas que funcionam em ratos frequentemente não agem sobre os seres humanos de maneira semelhante, o grau com que esta combinação de drogas medicamentosas funcionou nestes animais de laboratório é notável. Drogas capazes de funcionar tão bem assim em ratos, frequentemente apresentam os mesmos efeitos sobre os seres humanos.

Veja o artigo “Hope in the lab: a specIAI report. A cautious awe greets drugs that eradicate tumors in mice”, publicado no *New York Times*, a 3 de maio de 1998.

CAPITULO 10: 2019

1. Veja nota 3 ao Capítulo 9, “2009”, sobre a *Microvision Virtual Retina Display*.
2. Um computador neural de 1997 já forneceu cerca de 2 bilhões de cálculos de conexão neural por segundo pelo valor de 2 mil dólares. Se essa capacidade for dobrada 22 vezes até o ano de 2019, conforme se calcula, isso resultará em mais ou menos 8 trilhões de cálculos por segundo por 2 mil dólares e equivalerá a 16 trilhões de cálculos por segundo por 4 mil dólares. Por volta de 2020, o número dobrará para 16 trilhões de cálculos por segundo pelo valor de compra correspondente a 2 mil dólares.
3. Com cada cérebro humano fornecendo aproximadamente 10^{16} cálculos por segundo, e uma estimativa de 10^{10} (dez bilhões) de seres humanos vivendo nessa época, nós disporemos de uma possibilidade de 10^{26} cálculos por segundo realizados por todas as pessoas que viverem nessa época sobre a Terra. Há aproximadamente 100 milhões de computadores no mundo em 1998. Uma estimativa conservadora seria a da existência de 1 bilhão de computadores no mundo em 2019, funcionando no estado da arte para máquinas de mil dólares. Assim, o poder de computação total dos computadores de então corresponderá a 1 bilhão (10^9) vezes a potência de 10^{16} , portanto, uma capacidade total de 10^{25} cálculos por segundo, o que corresponde a 10% dos 10^{26} cálculos por segundo que poderão ser então realizados por todas as pessoas sobre a Terra.

CAPITULO 11: 2029

1. Com cada cérebro humano fornecendo aproximadamente 10^{16} cálculos por segundo e uma estimativa de 10^{10} (dez bilhões) de seres humanos vivendo nessa época, nós disporemos de uma possibilidade de 10^{26} cálculos por segundo realizados por todas as pessoas que viverem nessa época sobre a Terra. Há aproximadamente 100 milhões de computadores no mundo em 1998. Uma estimativa (muito) conservadora seria a da existência de um bilhão de computadores no mundo em 2029, funcionando no estado da arte para máquinas de mil dólares. De fato, esta é uma perspectiva conservadora demais, mas será suficiente para os nossos propósitos presentes. Assim, o poder de computação total dos computadores de então corresponderá a um bilhão (10^9) vezes a potência de 10^{19} , portanto, uma capacidade total de 10^{28} cálculos por segundo, o que já será cem vezes o poder de processamento de todos os cérebros humanos tomados em seu conjunto (10^{26} operações por segundo, como vimos acima).
2. Veja: KURZWEIL, Raymond. *The 10% solution for a healthy life: how to*

eliminate virtually all risk of heart disease and câncer. New York: Crown Publishers: 1993.

CAPÍTULO 12: 2099

1. Como foi discutido no Capítulo 6, “Construindo Novos Cérebros...”, e no Capítulo 10, “2019”, a capacidade humana estimada de 2×10^{16} cálculos por segundo (conexões neurais) será igualada por qualquer dispositivo de computação, no valor de mil dólares, por volta de 2020. Como também foi observado, a capacidade de computação irá dobrar a cada 12 meses ou 12 vezes por década, o que corresponde a um exponencial de 1.000 (2^{10}) a cada 10 anos. Desse modo, por volta do ano de 2099, mil dólares de computação serão equivalentes mais ou menos a 10^{24} vezes a capacidade de computação do cérebro humano ou 10^{40} cálculos por segundo. Estimando-se 1 trilhão de pessoas virtuais (cem vezes maior do que os aproximadamente 10 bilhões de pessoas físicas que estarão vivendo no princípio do século XXI) e uma estimativa de 1 milhão de dólares de computação devotados a cada pessoa, chegaremos a uma estimativa de cerca de 10^{85} cálculos por segundo.

2. Mil qubits permitirão a $2^{1,000}$ (aproximadamente 10^{300}) cálculos serem realizados ao mesmo tempo. Se 10^{42} dos cálculos a cada segundo forem calculados a nível quântico, então isso é equivalente a $10^{42} \times 10^{300} = 10^{342}$ cálculos por segundo. $10^{342} + 10^{342}$ não soma muito além de 10^{342} .

3. Você pode estar imaginando o que aconteceu com a picoEngenharia. A picoEngenharia se refere a operações de Engenharia realizadas na escala de um picômetro, que corresponde a um trilionésimo de metro. Lembre-se de que o autor parou de conversar com Molly há setenta anos. A nanotecnologia (tecnologia na escala de um bilionésimo de metro) já se está tornando prática na década entre 2019 e 2029. Observe que, no século XX, a Lei dos Retornos Aceleradores aplicada à computação foi atingida através da Engenharia em escalas ainda menores em tamanho físico. Um bom exemplo disso é a Lei de Moore, no sentido de que o tamanho de um transistor (em duas dimensões) vem diminuindo cinquenta por cento a cada dois anos. Isto significa que os transistores vêm encolhendo a um fator de 2, igual a 32 a cada dez anos. Deste modo o tamanho característico de um transistor em *cada dimensão* vem encolhendo mediante um fator equivalente à raiz quadrada de 32, ou seja 5,6 a cada dez anos. Estamos encolhendo, portanto, o tamanho das características dos componentes por um fator de aproximadamente 5,6 para cada dimensão a cada década.

Se a Engenharia na escala nanométrica (a nanotecnologia) se tornar prática no

ano de 2032, então a Engenharia em escala picométrica deverá tornar-se prática mais ou menos 40 anos mais tarde (porque $5,6^4$ correspondem aproximadamente a 1.000); portanto, isto deverá ocorrer mais ou menos no ano de 2072. A Engenharia em nível de femtômetro (um quadrilionésimo de um metro, ou seja, um milésimo de um trilionésimo) deverá, portanto, já se ter tornado possível e prática em torno de 2112. Deste modo, eu estou sendo um pouco conservador ao afirmar que a femtoEngenharia ainda é controvertida em 2099.

A nanoEngenharia envolve a manipulação de átomos individuais. A picoEngenharia envolverá um trabalho de Engenharia diretamente com partículas subatômicas (isto é, em nível de elétrons). A femtoEngenharia envolverá manipulações no interior de um quark. Isso não deve parecer particularmente espantoso, tendo em vista que as teorias contemporâneas (em 1998) já postulam a existência de mecanismos intrincados no interior dos quarks.

EPILOGO: O RESTO DO UNIVERSO REVISITADO

1. Poderíamos empregar a *Busy Beaver Function* [Função Castor Ocupado] (veja nota 16 sobre a Máquina Turing, no Capítulo 4) como medida quantitativa do software da inteligência.

LINHA DO TEMPO

As fontes para a elaboração da linha temporal incluem Raymond Kurzweil, *The age of intelligent machines* (Cambridge, MA: MIT Press, 1990).

Para uma introdução à teoria do Big Bang, veja a página da Web localizada no endereço <<http://bowdoin.edu/dept/physics/astro.1997/astro4/bigbang.html>>; Joseph Silk, *A short history of the universe* (New York: Scientific American Library, 1994); Joseph Silk, *The Big Bang* (San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1980); Robert M. Wald, *Space, time, and gravity* (Chicago: The University of Chicago Press, 1977); e *A brief history of time*, de Stephen J. Hawking (New York: Bantam Books, 1988) [*Uma breve história do tempo*. 8 ed. Rio de Janeiro: Rocco, 1988].

Sobre evolução e pensamento, veja <<http://ccp.uchicago.edu/~jyin/evolution/html>>; Edward O. Wilson, *The diversity of life* (New York: W. W. Norton and Company, 1993); *The book of life*, de Stephen Jay Gould (New York: W. W. Norton & Company, 1993); *The timetable of Science*, de Alexander Hellemans e Bryan Bunch (Simon and Schuster, 1988); e “CBN history: radio broadcasting timeline”, em <<http://>

www.wcbn.org/history/wcbntime.html.

Veja também “Chronology of events in the history of microcomputers”, em <<http://www3.islandnet.com/~kpolsson/comphist.html>>; e “The Computer museum history center”, em <<http://www.tcm.org/html/history/index.html>>.

1. A picoEngenharia envolve Engenharia a nível de partículas subatômicas (por exemplo, elétrons). Veja nota 3 sobre picoEngenharia e femtoEngenharia no Capítulo 12.

2. A femtoEngenharia é um termo criado para descrever a Engenharia que venha a empregar elementos no interior de um quark. Veja nota 3 sobre picoEngenharia e femtoEngenharia no final do Capítulo 12.

COMO CONSTRUIR UMA MÁQUINA INTELIGENTE EM TRÊS PARADIGMAS FÁCEIS

1. Veja “Information processing in the human body”, de Vadim Gerasimov, em <<http://vadim.www.media.mit.edu/MAS862/Project.html>>.

2. MINSKY, Marvin & PAPERT, Seymour A. *Perceptions: an introduction to computational geometry*. Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

3. O texto citado sobre as “duas ciências filhas” pertence a Seymour A. Papert, em “One AI or many” (*Daedalus*, inverno 1988).

“O dr. Seymour Papert é matemático e um dos primeiros pioneiros na área da Inteligência Artificial. Além disso, ele é reconhecido internacionalmente como o pensador seminal sobre as maneiras segundo as quais os computadores podem modificar a aprendizagem. Nascido e educado na África do Sul, onde ele participou ativamente do movimento anti-apartheid, o dr. Papert realizou pesquisas dentro da área de matemática aplicada, na Universidade de Cambridge, entre 1954 e 1958. Depois, trabalhou com Jean Piaget na Universidade de Genebra, de 1958 a 1963. Foi através desta colaboração que ele foi levado a considerar o uso da matemática para a compreensão de como as crianças podem pensar e aprender. Na primeira metade da década de 1960, Papert transferiu-se para o Instituto de Tecnologia de Massachusetts, onde fundou o Laboratório de Inteligência Artificial, conjuntamente com Marvin Minsky, e tornou-se co-autor de sua obra seminal, *Perceptions: an Introduction to computational geometry*.” Transcrito da página da Web intitulada “Seymour Papert”, em <<http://ipapert.www.media.mit.edu/people/papert/>>.

4. “Marvin Minsky foi [...] um dos pioneiros da robótica mecânica e telepresença baseada na inteligência. [...] Em 1951, ele construiu a primeira máquina de aprendizagem baseada em rede neural de fiação aleatória (denominada SNARC, sigla para *Stochastic Neural-Analog Reinforcement Computer* [Computador Estocástico de Reforço Neuroanalógico]), baseado no reforço de coeficientes de

transmissões sinápticas simuladas. [...] Desde o início da década de 1950, Marvin Minsky trabalhou com a utilização de ideias computacionais a fim de caracterizar os processos psicológicos humanos, do mesmo modo que nas maneiras de conferir inteligência a máquinas.” Transcrito da breve biografia acadêmica de Marvin Minsky, no endereço <<http://minsky.www.media.mit.edu/people/minsky.minskybiog.html>>.

5. O dr. Raj Reddy é o decano da Escola de Ciências da Computação, na Carnegie Mellon University, e professor de Ciência da Computação e de Robótica na Universidade Herbert A. Simon. O dr. Reddy é um dos principais pesquisadores na área de Inteligência Artificial, cujos interesses de pesquisa incluem o estudo da inteligência artificial e da interação entre os seres humanos e os computadores.

LEITURAS SUGERIDAS

- ABBOTT, E. A. *Flatland: a romance in many dimensions*. Reprint. Oxford: Blackwell, 1962.
- ABELSON, Harold & DiSESSA, Andréa. *Turtle geometry: the Computer as a médium for exploring mathematics*. Cambridge, MA: MIT Press, 1980.
- ABRAMS, Malcolm & BERNSTEIN, Harriet. *Future stuff*. New York: Viking Penguin, 1989.
- ADAMS, James L. *Conceptual blockbusting: a guide to better ideas*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.
- . *The care andfeeding of ideas: a guide to encouraging creativity*. Reading, MA: Addison-Wesley,

1986.

- ADAMS, Scott. *The Dilhertfuture: thriving on stupidity in the 2^{1st} century*. New York: Harper Business, 1997.
- ALEXANDER, S. *Artand instinct*. Reprint. Oxford: Folcroft Press, 1970.
- ALLEN, Peter K. *Robotic object recognition using Vision and touch*. Boston: Kluwer Academic, 1987.
- ALLMAN, William F. *Apprentices ofwonder: inside the neural network revolution*. New York: Bantam Books, 1989.
- AMIT, Daniel J. *Modeling brain function: the world of attractor neural networks*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- ANDERSON, James A. *An introduction to neural networks*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
- ANDRIOLE, Stephen (Ed.). *The future of information processing technology*. Princeton, NJ: Petrocelli Books, 1985.
- ANTÉBI, Elizabeth & FISHLOCK, Davis. *Biotechnology: strategies for life*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- ANTON, John P. *Science and the Sciences in Plato*. New York: EIDOS, 1980.
- ASHBY, W. Ross. *Designfor a brain*. New York: John Wiley and Sons, 1960.
- . *An Introduction to Cybemetics*. New York: John Wiley and Sons, 1963.
- ASIMOV, Isaac. *Asimov on numbers*. New York: Bell Publishing Company, 1977.
- . *I, robot*. New York: Doubleday, 1950. [*Eu, robô*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2004.]
- . *Robot dreams*. New York: Berkley Books, 1986.
- . *Robots of datvn*. New York: Doubleday and Company, 1983.
- ASIMOV] Isaac & FRENKEL, Karen A. *Robots: machines in man's image*. New York: Harmony Books,

1985.

- ATKINS, P. W. *The second Um*. New York: Scientific American Books, 1984.

AUGARTEN, Stan. *Bit by bit: an illustrated history of computers*. New York: Ticknor and Fields, 1984.

AUSTRIAN, Geoffrey D. *Herman hollerith: forgotten giant of information processing*. New York: Columbia University Press, 1982.

AXELROD, Robert. *The evolution of cooperation*. New York: Basic Books, 1984.

AYACHE, Nicholas & SANDER, Peter T. *Artificial vision for mobile robots: stereo vision and multisensory perception*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

AYER, Alfred J. *The foundations of empirical knowledge*. London: Macmillan and Company, 1964.

. *Language, truth and logic*. New York: Dover Publications, 1936.

. (Ed.). *Logical positivism*. New York: Macmillan, 1959.

AYERS, M. *The refutation of determinism: an essay in philosophical logic*. London: Methuen, 1968.

AYRES, Robert U. et al. *Robotics and flexible manufacturing technologies: assessment, impacts, and forecast*. Park Ridge, NJ: Noyes Publications, 1985.

BABBAGE, Charles. *Charles Babbage and his calculating engines*. Edited by Philip Morrison and Emily Morrison. New York: Dover Publications, 1961.

. *Ninth bridgewater treatise: a fragment*. London: Murray, 1838.

BABBAGE, Henry Prevost. *Babbage's calculating engines: a collection of papers by Henry Prevost Babbage* ((Ed.)). Los Angeles: Tomash, 1982. v. 2.

BAILEY, James. *After thought: the Computer challenge to human intelligence*. New York: Basic Books, 1996.

BARA, Bruno G. & GUIDA, Giovanni. *Computational models of natural language processing*. Amsterdam: North Holland, 1984.

BARNESLEY, Michael F. *Fractals everywhere*. Boston: Academic Press Professional, 1993.

BARON, Jonathan. *Rationality and intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

BARRETT, Paul H. (Ed.). *The collected papers of Charles Danem*. Chicago: Chicago University Press, 1977. v. 1 and 2.

BARROW, John. *Theories of everything*. Oxford: Oxford University Press, 1991.

BARROW, John D. & TIPLER, Frank J. *The anthropic cosmological principle*. Oxford: Oxford University Press, 1986.

BARTEE, Thomas C. (Ed.). *Digital Communications*. Indianapolis. In: Howard W. Sams and Company,

1986.

BASALLA, George. *The evolution of technology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

BASHE, Charles J., JOHNSON, Lyle R., PALMER, John H. & PUGH, Emerson W. *IBM's early computers*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

BATEMAN, Wayne. *Introduction to Computer music*. New York: John Wiley and Sons, 1980.

BAXANDALL, D. *Calculating machines and Instruments*. Rev. (Ed.). London: Science Museum, 1975. Original, 1926.

BELL, C. Gordon, with John E. McNAMARA. *High-tech ventures: the guide for entrepreneurial success*.

- Reading, MA: Addison-Wesley, 1991.
- BELL, Gordon. Ultracomputers: a teraflop before its time. *Science*, n. 256, 3 apr. 1992.
- BENEDIKT, Michael (Ed.). *Cyberspace: first steps*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
- BERNSTEIN, Jeremy. *The analytical engine: computers past, present and future*. Rev. (Ed.). New York: William Morrow, 1981.
- BERTIN, Jacques. *Semiology of graphics: diagrams, networks, maps*. Madison: University of Wisconsin Press, 1983.
- BETH, E.W. *Foundation of mathematics*. Amsterdam: North Holland, 1959.
- BLOCK, Irving (Ed.). *Perspectives on the philosophy of Wittgenstein*. Cambridge, MA: MIT Press, 1981.
- BLOCK, Ned, FLANAGAN, Owen & GUZELDERE, Guven (Eds.). *The nature of consciousness: philosophical debates*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
- BOBROW, Daniel G. & COLLINS, A. (Eds.). *Representation and understanding*. New York: Academic Press, 1975.
- BODEN, Margaret. *Artificial intelligence and natural man*. New York: Basic Books, 1977.
- . *The Creative mind: myths and mechanisms*. New York: Basic Books, 1991.
- BOLTER, J. David. *Turing's man: western culture in the Computer age*. Chapel Hill: The University of North Carolina Press, 1984.
- BOOLE, George. *An investigation of the laws of thought on which are founded the mathematical theories of logic and probabilities*. 1854. Reprint. Peru, IL: Open Court Publishing, 1952.
- BOTVINNIK, M.M. *Computers in chess: solving inexact search problems*. New York: Springer-Verlag, 1984.
- BOWDEN, B. W. (Ed.). *Faster than thought*. London: Pitman, 1953.
- BRACHMAN, Ronald J. & LEVESQUE, Hector J. *Readings and knowledge representations*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1985.
- BRADY, M., GERHARDT, L. A. & DAVIDSON, H. F. *Robotics and artificial intelligence*. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
- BRAND, Stewart. *The media lab: inventing the future at MIT*. New York: Viking Penguin, 1987.
- BRIGGS, John. *Fractals: the patterns of chaos*. New York: Simon and Schuster, 1992.
- BRITTAN, Gordon G. *Kant's theory of Science*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1978.
- BRONOWSKI, J. *The ascent of man*. Boston: Little, Brown and Company, 1973.
- BROOKS, Rodney A. Elephants don't play chess. *Robotics and Autonomous Systems*, n. 6, 1990.
- . Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, n. 47, 1991.
- . New approaches to robotics. *Science*, n. 253, 1991.
- BROOKS, Rodney A. & FLYNN, Anita. Fast, cheap and out of control: a robot invasion of the solar system. *Journal of the British Interplanetary Society*, n. 42, 1989.
- BROOKS, Rodney A., MAES, Pattie, MATARIC Maja J. & MORE, Grinnell. Lunar base construction robots. IROS, IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, 1990.
- BROWN, John Seeley. *Seeing differently: insights on innovation*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 1997.

BROWN, Kenneth A. *Inventors at work: interviews with 16 notable American inventors*. Redmond, VA: Tèmpus Books of Microsoft Press, 1988.

BRUMBAUGH, R. S. *Plato 's mathematical imagination*. Bloomington: IndIAna University Press, 1954.

BRUNER, Jerome S., GOODNOW, Jacqueline J. & AUSTIN, George A. *A study of thinking*. 1956. Reprint. Nova York: Science Editions, 1965.

BUDERI, Robert. *The invention that changed the world: how a small group of radar pioneers won the second world war and launched a technological revolution*. New York: Simon and Schuster, 1996.

BURGER, Peter & GILLIES, Duncan. *Interactive Computer graphics: functional, procedural and device-level methods*. Workingham, UK: Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

BURKE, James. *The day the universe chang (Ed.)*. Boston: Little, Brown and Company, 1985.

BUTLER, Samuel. Darwin among the machines. *Canterbury Settlement*. AMS Press, 1923. (Written in 1863 by the author of *Erewhon*.) BUXTON, H. W. *Memoir of the life and labours ofthe late Charles Babbage, Esq. F.R.S*. Edited by A. Hyman. Los Angeles: Tomash, 1988.

BYRD, Donald. *Music notation by Computer*. Ph.D. Dissertation. IndIAna University Computer Science Department, 1984.

BYTHELL, Duncan. *The handloom weavers: a study in the English cotton industry during the Industrial Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press, 1969.

CAIRNS-SMITH, A. G. *Seven clues to the origin of life*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

CALVIN, WillIAM H. *The cerebral code: thinking a thought in the mosaics of the mind*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

CAMPBELL, Jeremy. *The improbable machine*. New York: Simon and Schuster, 1989.

CARPENTER, Gail A. e& GROSSBERG, Stephen. *Pattem recognition by self-organizing neural networks*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

CARROLL, Lewis. *Through the looking glass*. London: Macmillan, 1871.

CASSIRER, Ernst. *The philosophy of the enlightenment*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1951.

CASTI, John L. *Complexification: explaining the paradoxical world through the Science of surprise*. New York: HarperCollins, 1994.

CATER, John P. *Electronically hearing: Computer speech recognition*. IndIAnapolis, IN: Howard W. Sams and Company, 1984.

. *Electronically speaking: Computer speech generation*. IndIAnapolis, IN: Howard W. Sams and Company, 1983.

CAUDILL, Maureen & BUTLER, Charles. *Naturally intelligent Systems*. Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

CHAITIN, Gregory J. *Algorithmic information theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

CHALMERS, D. J. *The conscious mind*. New York: Oxford University Press, 1996.

CHAMBERLIN, Hal. *Musical applications of microprocessors*. IndIAnapolis, IN: Hayden Books, 1985.

CHAPUIS, Alfred & DROZ, Edmond. *Automata: a historical and technological study*. New York: Griffon, 1958.

CHERNIAK, Christopher. *Minimal rationality*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

CHOMSKY, Noah. *Cartesian linguistics*. New York: Harper and Row, 1966.

- . *Language and mind*. Enlarged edition. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1972.
- . *Language and problems of knowledge*-, the Managua letters. Cambridge, MA: MIT Press, 1988.
- . *Language and thought*. Wakefield, RI; e London: Moyer Bell, 1993.
- . *Reflections on language*. New York: Pantheon, 1975.
- . *Rules and representation*. Cambridge, MA: MIT Press, 1980.
- . *Syntactic structures*. The Hague: Mouton, 1957.
- CHOUDHARY, Alok N. & PATTL, Janak H. *Parallel architectures and parallel algorithms for integrated vision systems*. Boston: Kluwer Academic, 1990.
- CHRISTENSEN, Clayton. *The innmiator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 1997.
- CHURCH, Alonzo. *Introduction to mathematical logic*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1956. v. 1.
- CHURCH, Kenneth W. *Phonological parsing in speech recognition*. Norwell, MA: Kluwer Academic, 1987.
- CHURCHLAND, P. S. & SEJNOWSKI, T. J. *The computational brain*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
- CHURCHLAND, Paul. *The engine of reason, the seat of the soul*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995.
- . *Matters and consciousness: a contemporary introductim to the philosophy of mind*. Cambridge, MA: MIT Press, 1984.
- . *A neurocomputational perspective: the nature of mind and the structure of Science*. Cambridge, MA: MIT Press, 1989.
- CLARK, Andy. *Being there: putting brain, body, and world together again*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
- CLARKE, Arthur C. *3001: the final odyssey*. New York: Ballantine Books, 1997 [*3001: a odisséia final*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.]
- COATES, Joseph F., MAHAFFIE, John B. & HINES, Andy. *2023: scenarios of U.S. and global society reshaped by Science and technology*. Greensboro, NC: Oak Hill Press, 1997.
- COHEN, I, Bernard. *The Newtonian revolution*. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.
- COHEN, John. *Human robots in myth and Science*. London: Allen and Unwin, 1966.
- COHEN, Paul R. *Empirical methods for artificial intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995.
- COHEN, Paul R. & FEIGENBAUM, Edward A. *The handbook of artificial intelligence*. Los Altos, CA: WillIAM Kaufmann, 1982. v. 3 and 4.
- CONNELL, Jonathan H. *Minimalist mobile robotics: a colony-style architecture for an artificial creature*. Boston: Academic Press, 1990.
- CONRAD, Michael & PATTEE, H. H. Evolution experiments with an artificial ecosystem. *Journal of Theoretical Biology*, n. 28, 1970.
- CONRAD, Michael et al. Towards an artificial brain. *BioSystems*, n. 23, 1989.
- CORNFORD, FrancisM. *Plato's cosmology*. London: Routledge and Kegan Paul, 1937.
- CRANDALL, B. C. (Ed.). *Nanotechnology: molecular speculations on global abundance*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.

- CREASE, Robert P. & MANN, Charles C. *The second creation*. New York: Macmillan, 1986.
- CRICK, Francis. *The astonishing hypothesis: the scientific search for the soul*. New York: Charles Scribner's Sons, 1994.
- . *Life itself*. London: Mcdonald, 1981.
- CRITCHLOW, Arthur J. *Introduction to robotics*. New York: Macmillan Publishing Company, 1985.
- CULLINANE, John J. *The entrepreneur's survivalguide: 101 tips for managing in good times and bad*. Homewood, IL: Business One Irwin, 1993.
- Daedalus: Journal of the American Academy of Arts and Sciences. Artificial Intelligence*. Winter 1998. v. 117.
- DARWIN, Charles. *The descent of man, and selection in relation to sex*. 2 ed. New York: Hurst and Company, 1874. [A origem do homem e a seleção sexual. São Paulo: Itatiaia, 2004.]
- . *The expression of the emotions in man and animals*. 1872. Reprint. Chicago: University of Chicago Press, 1965. [A expressão das emoções no homem e nos animais. São Paulo: Cia. das Letras, 2000.]
- . *Origin of species*. Reprint. London: Penguin, 1859. [A origem das espécies. São Paulo: Martin Claret, 2004.]
- DAVIES, Paul. *Are we alone? Implications of the discovery of extraterrestrial life*. New York: Basic Books, 1995.
- . *The cosmic blueprint*. New York: Simon and Schuster, 1988.
- . *God and the new physics*. New York: Simon and Schuster, 1983.
- . *The mind of God*. New York: Simon and Schuster, 1992.
- . A New Science of Complexity. *New Scientist*, n. 26, nov. 1988.
- DAVIS, Philip J. & PARK, David (Eds.). *No way: the nature of the impossible*. New York: W. H. Freeman, 1988.
- DAVIS, Philip J. & HERSH, Reuben. *Descartes' dream: the world according to mathematics*. San Diego, CA: Harcourt Brace Jovanovich, 1986.
- DAVIS, R. & LENAT, D. B. *Knowledge-based Systems in artificial intelligence*. New York: McGrawHill, 1980.
- DAWKENS, Richard. *The blind watchmaker: why the evidence of evolution reveals a universe without design*. New York: W. W. Norton and Company, 1986.
- . The evolution of evolvability. *Artificial Life*, edited by Christopher G. Langton. Reading, MA: Addison-Wesley, 1988.
- . *The Extended Phenotype*. San Francisco: Freeman, 1982.
- . *River Out of Eden: A Darwinian View of Life*. New York: Basic Books, 1995.
- . Universal Darwinism. *Evolution from molecules to men*, edited by D. S. Bendall. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- . *The selfish gene*. Oxford: Oxford University Press, 1976.
- DECHERT, Charles R. (Ed.). *The social impact of cybernetics*. New York: Simon and Schuster, 1966.
- DENES, Peter B. & PINSON, Elliot N. *The speech chain: the physics and biology of spoken language*. Bell Telephone Laboratories, 1963.
- DENNETT, Daniel C. *Brainstorms: philosophical essays on mind and psychology*. Cambridge, MA: MIT

Press, 1981.

. *Consciousness explain (Ed.)*. Boston: Litde, Brown and Company, 1991.

. *Content and consciousness*. London: Routledge and Kegan Paul, 1969.

. *Darwin's dangerous idea: evolution and the meanings of life*. New York: Simon and Schuster,

1995.

. *Elbow rocrm: the varieties of ffee will worth wanting*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

. *The intentional stance*. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

. *Kinds of minds: toward an understanding of consciousness*. New York: Basic Books, 1996.

DENNING, Peter J. & METCALFE, Robert M. *Beyond calculation: the next fifty years of computing*. New York: Copernicus, 1997.

DEPEW, David J. & WEBER, Bruce H. (Eds.). *Evolution at a crossroads*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

DERTOUZOS, Michael. *What will be: how the new world of information will change our lives*. New York: HarperCollins, 1997.

DESCARTES, R. *Discourse on method, optics, geometry, and meteorology*. 1637. Reprint. IndIAnapolis, IN: Bobbs-Merrill, 1956 [*Discurso do método*. São Paulo: Paulus, 2003.]

. *Meditations on first philosophy*. Paris: Michel Soly, 1641.

. *Treatise on man*. Paris, 1664.

DEVLIN, Keith. *Mathematics: the Science of patterns*. New York: Scientific American Library, 1994.

DEWDNEY, A. K. *The armxhair universe: an exploration of Computer worlds*. New York: W. H. Freeman, 1988.

DE WITT, Bruce & GRAHAM, R. D. (Eds.). *The many-worlds interpretation of quantum mechanics*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1974.

DIEBOLD, John. *Man and the Computer: technology as an agent of social change*. New York: Avon Books, 1969.

DIXIT, Avinash & PINDYCK, Robert S. *Investment under uncertainty*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1994.

DOBZHANSKY, Theodosius. *Mankind evolving: the evolution of the human species*. New Haven, CT: Yale University Press, 1962.

DODDS, E.R. *Greeks and the irrational*. Berkeley: University of Califórnia Press, 1951.

DOWNES, Larry, MUI, Chunka & NEGROPONTE, Nicholas. *Unleashing the killer app: digital strategies for market dominance*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 1998.

DRACHMANN, A. G. *The mechanical technology ofGreek and Roman antiquity*. Madison: University of Wisconsin Press, 1963.

DREXLER, K. Eric. *Engines of creation*. New York: Doubleday, 1986.

. Hypertext publishing and the evolution of knowledge. *Social Intelligence*, v. 1, n. 2, 1991.

DREYFUS, Hubert. Alchemy and artificial intelligence. *Rand Technical Report*, Dec. 1965.

- . *Philosophic issues in artificial intelligence*. Chicago: Quadrangle Books, 1967.
- . *What computers can't do: the limits of artificial intelligence*. New York: Harper and Row,

1979.

- . *What computers still can't do: a critique of artificial reason*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
- . (Ed.). *Husserl, intentionality in cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press, 1982.
- DREYFUS, Hubert L. & DREYFUS, Stuart E. *Mind over machine: the power of human intuition and expertise in the era of the Computer*. New York: The Free Press, 1986.
- DRUCKER, Peter F. *Innovation and entrepreneurship: practice and principles*. New York: Harper and Row, 1985 [*Inovação e espírito empreendedor*. 5 ed. São Paulo: Thomson Pioneira, 1998.]
- DURRETT, H. John (Ed.). *Color and the Computer*. Boston: Academic Press, 1987.
- DYSON, Esther. *Release 2.0: a design for living in the digital age*. New York: Broadway Books, 1997.
- DYSON, Freeman. *Disturbing the universe*. New York: Harper and Row, 1979.
- . *From Eros to Gaia*. New York: HarperCollins, 1990.
- . *Infinite in all directions*. New York: Harper and Row, 1988.
- . *Origins of life*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- DYSON, George B. *Darwin among the machines: the evolution of global intelligence*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1997.
- EAMES, Charles & EAMES, Ray. *A Computer perspective*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1973.
- EBELING, Carl. *All the right moves: a VLSI architecture for chess*. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.
- EDELMAN, G. M. *Neural Darwinism: the theory of neuronal group selection*. New York: Basic Books,

1987.

- EINSTEIN, Albert. *Relativity: the special and the general theory*. New York: Crown, 1961.
- ELITHORN, Alick & BANERJI, Ranan. *Artificial and human intelligence*. Amsterdam: North Holland, 1991.
- ENDERLE, G. *Computer graphics programming*. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
- FADIMAN, Clifton (Ed.). *Fantasia mathematica: being a set of stories, together with a group of oddments and diversion, all drawn from the universe of mathematics*. New York: Simon and Schuster, 1958.
- FAHLMAN, Scott E. *NETL: a system for representing and using real-world knowledge*. Cambridge, MA: MIT Press, 1979.
- FANT, Gunnar. *Speech sounds and features*. Cambridge, MA: MIT Press, 1973.
- FEIGENBAUM, E. & BARR, Avron (Eds.). *The handbook of artificial intelligence*. Los Altos, CA: William Kaufmann, 1981. v. 1.
- FEIGENBAUM, Edward A. & FELDMAN, Julian (Eds.). *Computers and thought*. New York:

- McGrawHill, 1963.
- FEIGENBAUM, Edward A. & MCCORDUCK, Pamela. *The fifth generation: artificial intelligence and Japan's Computer challenge to the world*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1983.
- FEYNMAN, Richard. There's plenty of room at the bottom. *Miniaturization*. Edited by H. D. Gilbert. New York: Reinhold, 1961.
- FEYNMAN, Richard P. *Surely you're joking, Mr. Feynman!* New York: Norton, 1985.
- . *What do you care what other people think?* New York: Bantam, 1988.
- FEYNMAN, Richard R, LEIGHTON, Robert B. & SANDS, Matthew. *The Feynman lectures in physics*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1965.
- FINDLAY, J. N. *Plato and Platonism: an introduction*. New York: Times Books, 1978.
- FINKELSTEIN, Joseph (Ed.). *Windows on a new world: the third industrial revolution*. New York: Greenwood Press, 1989.
- FISCHLER, Martin A. & FIRSCHEIN, Oscar. *Intelligence: the eye, the brain and the Computer*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1987.
- & . (Eds.). *Readings in Computer vision: issues, problems, principles, and paradigms*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1987.
- FJERMEDAL, Grant. *The tomorrow makers: a brave new world of living brain machines*. New York: Macmillan Publishing Company, 1986.
- FLANAGAN, Owen. *Consciousness reconsidered*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
- FLYNN, Anita, BROOKS, Rodney A. & TAVROW, Lee S. Twilight zones and cornerstones: a grant robot double feature. *A.I. Memo 1126*. MIT Artificial Intelligence Laboratory, 1989.
- FODOR, Jerry A. *The language of thought*. Hassocks, UK: Harvester, 1975.
- . Methodological solipsism considered as a research strategy in cognitive psychology. *Behavioral and Brain Sciences*, v. 3, 1980.
- . *The modularity of mind*. Cambridge, MA: MIT Press, 1983.
- . *Psychosemantics*. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.
- . *Representations: philosophical essays on the foundations of cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press, 1982.
- . *A theory of content and other essays*. Cambridge, MA: MIT Press, 1990.
- FOGEL, Lawrence J., OWENS, Alvin J. & WALSH, Michael J. *Artificial evolution through simulated evolution*. New York: John Wiley and Sons, 1966.
- FOLEY, James, VAN DAM, Andries, FEINER, Steven & HUGHES, John. *Computer graphics: principles and practice*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1990.
- FORBES, R. J. *Studies in ancient technology*. Leiden, Netherlands: E. J. Brill, 1955-1965. 9 v.
- FORD, Kenneth M., GLYMOUR, Clark & HAYES, Patrick J. *Android epistemology*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995.
- FORESTER, Tom. *Computers in the human context*. Cambridge, MA: MIT Press, 1989.
- . *High-tech society: the story of the information technology revolution*. Cambridge, MA: MIT Press,

1987.

- . *The Information Technology Revolution*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.
- . *The materials revolution*. Cambridge, MA: MIT Press, 1988.
- FORREST, Stephanie (Ed.). *Emergent computation*. Amsterdam: North Holland, 1990.
- FOSTER, Richard. *Innovation: the attacker's advantage*. New York: Summit Books, 1986.
- FOWLER, D. H. *The mathematics of Plato's academy*. Oxford: Clarendon Press, 1987.
- FRANKE, Herbert W. *Computer graphics-computer art*. Berlin: Springer-Verlag, 1985.
- FRANKLIN, Stan. *Artificial minds*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
- FRAUENFELDER, Uli H. & TYLER, Lorraine Komisarjevsky. *Spoken word recognition*. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.
- FREEDMAN, David H. *Brainmakers: how scientists are moving beyond computers to create a rival to the human brain*. New York: Simon and Schuster, 1994.
- FREEMAN, Herbert (Ed.). *Machine vision of three-dimensional scenes*. Boston: Academic Press, 1990.
- FREUD, Sigmund. *The interpretation of dreams*. Reprint. London: Hogarth Press, 1955. [A interpretação dos sonhos. Rio de Janeiro: Imago, 2006. 2 v.]
- . *Jokes and their relation to the unconscious*. Standard edition of the *Complete psychological works of Sigmund Freud*. 1905. Reprint. London: Hogarth Press, 1957. v. 8.
- FREUDENTHAL, Hans. *Mathematics observed*. Trans. Stephen Rudolfer and I. N. Baker. New York: McGrawHill, 1967.
- FREY, Peter W. (Ed.). *Chess skill in man and machine*. New York: Springer-Verlag, 1983.
- FRIEND, David, PEARLMAN, Alan R. & PIGGOTT, Thomas D. *Learning music with synthesizers*. Lexington, MA: Hal Leonard, 1974.
- GAMOW, George. *One two three...infinity*. Toronto: Bantam Books, 1961.
- GAJRDNER, Howard. *The mind's new Science: a history of the cognitive revolution*. New York: Basic Books, 1985.
- GARDNER, Martin. *Time travel and other mathematical bewilderments*. New York: W. H. Freeman,

1988.

- GAREY, Michael R. & JOHNSON, David S. *Computers and intractability*. San Francisco: W. H. Freeman, 1979.
- GATES, Bill. *The road ahead*. New York: Viking Penguin, 1995.
- GAY, Peter. *The enlightenment: an interpretation*. New York: W. W. Norton, 1966. v. 1 (The rise of modern paganism).
- . *The enlightenment: an interpretation*. New York: W. W. Norton, 1969. v. 2 (The Science of freedom).
- GAZZANIGA, Michael S. *Mind matters: how mind and brain interact to create our conscious lives*. Boston: HoughtonMifflin Company, 1988.

GEISSLER, H. G. *et al. Advances in psychology*. Amsterdam: Elsevier Science, B.V., 1983.

GEISSLER, Hans-George *et al. Modern issues in perception*. Amsterdam: North Holland, 1983.

GELERTNER, David. *Mirrorworlds: or the day software puts the universe in a shoebox... How it will happen and what it will mean*. New York: Oxford University Press, 1991.

. *The muse in the machine: computerizing the poetry of human thought*. New York: The Free Press, 1994.

GELL-MANN, Murray. *The quark and the jaguar: adventures in the simple and the complex*. New York: W. H. Freeman, 1994.

. Simplicity and complexity in the description of nature. *Engineering in Science*, n. 3, Spring

1988.

GHISELIN, Brewster. *The Creative process: a symposium*. New York: New American Library, 1952.

GILDER, George. *Life after television*. New York: W. W. Norton and Company, 1994.

. *The meaning of microcosm*. Washington, DC: The Progress and Freedom Foundation, 1997.

. *Microcosm: the quantum revolution in economics and technology*. New York: Simon and Schuster, 1989.

. *Telecosm*. New York: American Heritage Custom Publishing, 1996.

GILLISPIE, Charles. *The edge of objectivity*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1960.

GLASS, Robert L. *Computing catastrophes*. Seattle, WA: Computing Trends, 1983.

GLEICK, James. *Chaos: making a new Science*. New York: Viking Penguin, 1987.

GLENN, Jerome Clayton. *Future mind: artificial intelligence: the merging of the mystical and the technological in the 21st century*. Washington, D.C.: Acropolis Books, 1989.

GODEL, Kurt. *On formally undecidable propositions in "Principia Mathematica" and related systems*. New York: Basic Books, 1962.

GOLDBERG, David E. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.

GOLDSTINE, Herman. *The Computer from Pascal to von Neumann*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1972.

GOLEMAN, Daniel. *Emotional intelligence: why it can matter more than IQ*. New York: Bantam Books, 1995 [*Inteligência emocional*. 5. ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 1996.]

GOOD, I. J. Speculations concerning the first ultraintelligent machine. *Advances in Computers*. Edited by Franz L. Alt e Morris Rubinoff. Academic Press, 1965. v. 6.

GOODMAN, Cynthia. *Digital visions: computers and art*. New York: Harry N. Abrams, 1987.

GOULD, Stephen J. *Eversince Darwin*. New York: Norton, 1977.

. *Full house: the spread of excellence from Plato to Darwin*. New York: Crown, 1995.

. *Hen's teeth and horse's toes*. New York: Norton, 1983.

. *The mismeasure of man*. New York: Norton, 1981.

. *Ontogeny and phylogeny*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1977.

. Opus 200. *Natural History*, Aug. 1991.

. *The panda's thumb*. New York: Norton, 1980.

. *Wonderful life: the Burgess shale and the nature of history*. New York: Norton, 1989.

GOULD, Stephen J. & VRBA, Elisabeth S. Exaptation A missing term in the Science of fossil. *Paleobiology*, v. 8, n. 1, 1982.

GOULD, Stephen J. & LEWONTIN, R. C. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. *Proceedings of the Royal Society of London*, B 205,

1979.

GRAUBART, Steven R. (Ed.). *The artificial intelligence debate: false starts, real foundations*. Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

GREENBERG, Donald, MARCUS, Aaron, SCHMIDT, Alan H. & GORTER, Vernon. *The Computer image: applications of Computer graphics*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1982.

GREENBERGER, Martin, (Ed.). *Computers and the world of the future*. Cambridge, MA: MIT Press, 1962.

GREENBLATT, R. D. et al. *The Greenblatt chess program. Proceedings of the All-Joint Computer conference*. ACM, 1967.

GRIBBIN, J. *In search of Schrodinger's cat: quantum physics and reality*. New York: Bantam Books,

1984.

GRIMSON, W. Eric L. *Object recognition by Computer: the role of geometric constraints*. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

GRIMSON, W. Eric L. & PATIL, Ramesh S. (Eds.). *AI in the 1980s and beyond: an MIT survey*. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

GRIMSON, William Eric Leifur. *From images to surfaces: a computational study of the human early visual system*. Cambridge, MA: MIT Press, 1981.

GROSSBERG, Stephen (Ed.). *Neural networks and natural intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

GROSSMAN, Reinhardt. *Phenomenology and existentialism: an introduction*. London: Routledge and Kegan Paul, 1984.

GUILLEN, Michael. *Bridges to infinity: the human side of mathematics*. Los Angeles: Jeremy P. Tarcher, 1983.

GUTHRIE, W. K. C. *A history of Greek philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1962-1981. 6 v.

HAFNER, Katie & MARKOFF, John. *Cyberpunk: outlaws and hackers on the Computer frontier*. New York: Simon and Schuster, 1991.

HALBERSTAM, David. *The next century*. New York: William Morrow, 1991.

HAMEROFF, Stuart R., KASZNIAK, Alfred W. & SCOTT, Alwyn C. (Eds.) *Toward a Science of consciousness: the first Tucson discussions and debates*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

HAMMING, R. W. *Introduction to applied numerical analysis*. New York: McGrawHill, 1971.

HANKINS, Thomas L. *Science and the enlightenment*. Cambridge: Cambridge University Press,

1985.

HAREL, David. *Algorithmics: the spirit of computing*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley, 1987.

HARMAN, Willis. *Global mind change: the new age revolution in the way we think*. New York: Warner Books, 1988.

HARMON, Paul & KING, David. *Expert systems: artificial intelligence in business*. New York: John Wiley and Sons, 1985.

HARRE, Rom (Ed.). *Computation and the mind*. *American Behavioral Scientist*, v. 40, n. 6, may 1997.

HARRINGTON, Steven. *Computer graphics: a programming approach*. New York: McGrawHill, 1987.

HARRIS, Mary Dee. *Introduction to natural language processing*. Reston, VA: Reston, 1985.

HAUGELAND, John. *Artificial intelligence: the very idea*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

. (Ed.). *Mind design: philosophy, psychology, artificial intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press,

1981.

. (Ed.). *Mind design II: philosophy, psychology, artificial intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press,

1997.

HAWKING, Stephen W. *A brief history of time: from the big bang to black holes*. Toronto: Bantam Books, 1988. [*Uma breve história do tempo*. 8 ed. Rio de Janeiro: Rocco, 1988.]

HAYES-ROTH, Frederick, WATERMAN, D. A. & LENAT, D. B. (Eds.). *Building expert systems*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1983.

HEISENBERG, Werner. *Physics and beyond: encounters and conversations*. New York: Harper and Row, 1971.

HELLEMANS, Alexander & BUNCH, Bryan. *The timetables of Science*. New York: Simon and Schuster, 1988.

HERBERT, Nick. *Quantum reality*. Garden City, NY: Anchor Press, 1985.

HILDEBRANDT, Stefan & TROMBA, Anthony. *Mathematics and optimalform*. New York: Scientific American Books, 1985.

HILLIS, W. Daniel. *The connection machine*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

. Intelligence as an emergent behavior; or: the songs of Eden. In: GRAUBARD, S. R. (Ed.). *The artificial debate: false starts and real foundations*. Cambridge, ma: mit Press, 1988.

HINDLE, Brooke & LUBAR, Steven. *Engines of change: the American industrial revolution, 1790-1860*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1986.

HOAGE, R. J. & GOLDMAN, Larry. *Animal intelligence: insights into the animal mind*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1986.

HODGES, Andrew. *Alan Turing: the enigma*. New York: Simon and Schuster, 1983.

HOEL, Paul G., PORT, Sidney C. & STONE, Charles J. *Introduction to stochastic processes*. Boston: HoughtonMifflin, 1972.

HOFSTADTER, Douglas R. *Gödel, Escher, Bach: an eternal golden braid*. New York: Basic Books, 1979.

. *Metamagical themas: questing for the essence of mind and pattern*. New York: Basic Books,

1985.

HOFSTADTER, Douglas R. & DENNETT, Daniel C. *The mind's 1: fantasies and reflections on self and soul*. New York: Basic Books, 1981.

HOFSTADTER, Douglas R., CLOSSMAN, Gray & MEREDITH, Marsha. Shakespeare's plays weren't written by him, but by someone else of the same name. Bloomington: Indiana University Computer Science Department Technical Report, 96, 1980.

HOLLAND, J. H., HOLYOKE, K. J., NISBETT, R. E. & THAGARD, P. R. *Induction: processes of inference, learning, and discovery*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

HOOKWAY, Christopher (Ed.). *Minds, machines, and evolution: philosophical studies*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

HOPPER, Grace Murray & MANDELL, Steven L. *Understanding computers*. 2 (Ed.). St. Paul, MN: West Publishing Co., 1987.

HORN, Berthold Klaus Paul. *Robot vision*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

HORN, Berthold K. P. & BROOKS, Michael J. *Shape from shading*. Cambridge, MA: MIT Press,

1989.

HSU, F. *Two designs offunctional unitsfor VLSI based chess machines*. Technical report. Computer Science Department, Carnegie Mellon University, 1986.

HUBEL, David H. *Eye, brain, and vision*. New York: Scientific American Library, 1988.

HUME, D. *Inquiry concerning human understanding*. 1748. Reprint. Indianapolis, IN: Bobbs-Merrill, 1955.

HUNT, V Daniel. *Understanding robotics*. San Diego, CA: Academic Press, 1990.

HUXLEY, Aldous. *Brave new world*. New York: Harper, 1946. [*Admirável mundo novo*. 2 ed. São Paulo: Globo, 2001.]

HYMAN, Anthony. *Charles Babbage: pioneer of the Computer*. Oxford: Oxford University Press, 1982.

INOSE, Hiroshi & PIERCE, John R. *Information technology and civilization*. New York: W. H. Freeman, 1984.

JACOBS, François. *The logic of life*. New York: Pantheon Books, 1973.

JAMES, Mike. *Pattern recognition*. New York: John Wiley and Sons, 1988.

JAMES, William. *The varieties of religious experience*. New York: Collier Books, 1961.

JAMIESON, Leah H., GANNON, Dennis & DOUGLAS, Robert J. *The characteristics of parallel algorithms*. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

JOHNSON, Mark & LAKOFF, George. *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press,

1980.

JONES, Steve. *The language of genes: solving the mysteries of our genetic past, present, and future*. New York: Anchor Books, 1993.

JONES, W. T. Kant and the nineteenth century. In : *A history of western philosophy*. 2. (Ed.). New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1975. v. 4.

. The twentieth century to Wittgenstein and Sartre. In: *A history of western philosophy*. 2. (Ed.). New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1975. v. 5.

JOY, Kenneth I., GRANT, Charles W., MAX, Nelson L. & HATFIELD, Lansing. *Tutorial: Computer graphics: image synthesis*. Washington, D.C.: Computer Society Press, 1988.

JUDSON, Horace F. *The eighth day of creation*. New York: Simon and Schuster, 1979.

JUNG, Carl. *Memories, dreams, reflections*. Ed. rev. Edited by Aniela Jaffé and translated by Richard and Clara Winston. New York: Pantheon Books, 1961. [*Memórias, sonhos, reflexões*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2006.]

JUNG, Carl et al. *Man and his symbols*. Garden City, NY: Doubleday, 1964. [*O homem e seus símbolos*. 15 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2005.]

KAKU, Michio. *Hyperspace: a scientific odyssey through parallel universes, time warps, and the 10th dimension*. New York: Anchor Books, 1995.

. *Visions: how Science will revolutionize the 21st century*. New York: Doubleday, 1997.

KANT, Immanuel. *Prolegomena to any future metaphysics*. Indianapolis, IN: Bobbs-Merrill, 1950. [*Prolegómenos a toda a metafísica futura*. Lisboa: Edições 70, 1988.]

KASNER, Edward & NEWMAN, James. *Mathematics and the imagination*. New York: Simon and Schuster, 1940.

KAUEFMAN, Stuart A. Antichaos and adaptation. *Scientific American*, Aug. 1991.

. *At home in the universe: the search for the laws of self-organization and complexity*. New York: Oxford University Press, 1995.

. "The origins of order: self-organization and selection in evolution". New York: Oxford University Press, 1993.

. The Sciences of complexity and "origins of order". Santa Fe Institute, 1991, technical report 91-04-021.

KAUFMANN, William J. & SMARR, Larry L. *Supercomputing and the transformation of Science*. New York: Scientific American Library, 1993.

KAY, Alan C. Computers, networks and education. *Scientific American*, Sept. 1991.

KELLY, Kevin. *Out of control: the new biology of machines, social systems and the economic world*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1994.

KENT, Ernest W. *The brains of men and machines*. Peterborough, NH: BYTE/McGrawHill, 1981.

KIDDER, Tracy. *The soul of a new machine*. London: Allen Lane, 1982.

Kirk, G. S., REVEN, J. E. & SCHOFIELD, M. *The presocratic philosophers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

KLEENE, Stephen Cole. *Introduction to metamathematics*. New York: D. Van Nostrand, 1952.

KLINE, Morris. *Mathematics and the search for knowledge*. Oxford: Oxford University Press, 1985.

KLIVINGTON, Kenneth A. *The Science of mind*. Cambridge, MA: Mir Press, 1989.

KLIX, Friedhart (Ed.). *Human and artificial intelligence*. Amsterdam: North Holland, 1979.

KNORR, Wilbur Richard. *The ancient tradition of geometric problems*. Boston: Birkhäuser, 1986.

KOBAYASHI, Koji. *Computers and Communications: a vision of C and C++*. Cambridge, MA: MIT Press,

1986.

KOHONEN, Teuvo. *Self-organization and associative memory*. Berlin: Springer-Verlag, 1984.

KOSSLYN, Stephen. M. *Image and brain: the resolution of the imagery debate*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

KOZA, John R. *Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

KRAUSS, Lawrence N. *The physics of Star Trek*. New York: Basic Books, 1995.

KULLANDER, Sven & LARSSON, Borje. *Out of sight! From quarks to living cells*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

KUNO, Susumu. *Functional syntax: anaphora, discourse, and empathy*. Chicago: University of Chicago Press, 1987.

KURZWEIL, Raymond. *The age of intelligent machines*. Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

. *The age of spiritual machines: when computers exceed human intelligence*. New York: Viking Penguin, 1999.

. When will HAL understand what we are saying? Computer speech recognition and understanding. In: STORK, Davis G. (Ed.). *HAL's legacy: 2001's Computer as dream & reality*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

. *The 10% solution for a healthy life: how to eliminate virtually all risk of heart disease and cancer*. New York: Crown Publishers, 1993.

LAMMERS, Susan. *Programmers at work: interviews*. Redmond, WA: Microsoft Press, 1986.

LANDES, David S. *Revolution in time: clocks and the making of the modern world*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.

LANDRETH, Bill. *Out of the inner circle: a hacker's guide to Computer security*. Bellevue, WA: Microsoft Press, 1985.

LANGLEY, Pat, SIMON, Herbert A., BRADSHAW, Gary L. & / Y i k()\|. an M. *Scientific discovery:*

- computational explorations of the Creative process. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.
- LANGTON, Christopher G. (Ed.). *Artificial life: an overview*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
- LASSERRE, François. *The birth of mathematics in the age of Plato*. New York, World Publishing Co., 1964.
- LATIL, Pierre de. *Thinking by machine: a study of cybernetics*. Boston: HoughtonMifflin, 1956.
- LAVER, Murray. *Computers and social change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.
- LEA, Wayne A. (Ed.). *Trends in speech recognition*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1980.
- LEAVITT, Ruth (Ed.). *Artist and Computer*. Morristown, NJ: Creative Computing Press, 1980.
- LEE, Kai-Fu & REDDY, Raj. *Automatic speech recognition: the development of the SPHINX recognition System*. Boston: Kluwer, 1989.
- LEE, Thomas F. *The human genome project: cracking the genetic code of life*. New York: Plenum Press, 1991.
- LEEBAERT, Derek (Ed.). *Technology 2001: the future of computing and Communications*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm. *Philosophical writings*. Ed. G. H. R. Parkinson. London and Toronto: J. M. Dent and Sons, 1973.
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm & CLARKE, Samuel. *The Leibniz-Clarke correspondence*. Ed. H. G. Alexander. Manchester, UK: Manchester University Press, 1956.
- LENAT, Douglas B. The heuristics of nature: the plausible mutation of DNA. Stanford Heuristic Programming Project, 1980, technical report HPP-80-27.
- LENAT, Douglas B & GUHA, R. V. *Building large knowledge-based systems: representation and inference in the CYC project*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1990.
- LEONTIEF, Wassily W. *The impact of automation on employment, 1963-2000*. Institute for Economic Analysis, New York University, 1984.
- LEONTIEF, Wassily W. & DUCHIN, Faye (Eds.). *The future impact of automation on workers*. Oxford: Oxford University Press, 1986.
- LETTVIN, J. Y., MATURANA, U., MCCULLOCH, W. & PITTS, W. What the frog's eye tells the frog's brain. *Proceedings of the IRE*, n. 47, 1959.
- LEVY, Steven. *Artificial life: the quest for a new creation*. New York: Pantheon Books, 1992.
- . *Hackers: heroes of the Computer revolution*. Garden City, NY: Anchor Press/Doubleday,

1968.

- LEWIN, Roger. *Complexity: life at the edge of chaos*. New York: Macmillan, 1992.
- . *In the age of mankind: a Smithsonian book of human evolution*. Washington, D.C.: Smithsonian Books, 1988.
- . *Thread of life: the Smithsonian looks at evolution*. Washington, D.C.: Smithsonian Books,

1982.

- LIEFF, Jonathan D. (M.D.) *Computer applications in psychiatry*. Washington. D.C.: American Psychiatric Press, 1987.
- LLOYD, G. E. R. *Aristotle: the growth and structure of his thought*. Cambridge: Cambridge University Press, 1968.
- . *Early Greek Science: Thales to Aristotle*. New York: W. W. Norton, 1970.
- LOCKE, John. *Essay concerning human understanding*. London, 1690. [*Ensaio sobre o entendimento humano*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.]
- LORD, Norman W. & GUAGOSIAN, Paul A. *Advanced computers: parallel and biochip processors*. Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science, Butterworth Group, 1983.
- LOWE, David G. *Perceptual organization and visual recognition*. Boston: Kluwer Academic, 1985.
- LUBAR, Steven. *InfoCulture: the Smithsonian book of information age inventions*. Boston: HoughtonMifflin Company, 1993.
- LUCE, R. D. & RAIFFA, H. *Games and decisions*. New York: John Wiley and Sons, 1957.
- LUCKY, Robert W. *Silicon dreams: information, man, and machine*. New York: St. Martin's Press, 1989.
- MCEY, Samuel L. *Clocks and the cosmos: time in western life and thought*. Hamden: Archon Books, 1980.
- MAES, Pattie. *Designing autonomous agents*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- MAGENAT-THALMANN, Nadia & THALMANN, Daniel. *Computer animation: theory and practice*. Tokyo: Springer-Verlag, 1985.
- MALCOLM, Norman. *Ludwig Wittgenstein: a Memoir, with a biographical sketch by Georg Henrik Von Wright*. Oxford: Oxford University Press, 1958.
- MAMDANI, E. H. & GAINES, B. R. *Fuzzy reasoning and its application*. London: Academic Press,

1981.

- MANDELBROT, Benoit B. *The fractal geometry of nature*. New York: W. H. Freeman, 1988.
- . *Fractals: form, chance, and dimension*. San Francisco: W. H. Freeman, 1977.
- MANDER, Jerry. *In the absence of the sacred: the failure of technology and the survival of the Indian nations*. San Francisco: Sierra Club Books, 1992.
- MARGULIES, Lynn & SAGAN, Dorion. *Microcosmos: four billion years of evolution from our microbial ancestors*. New York: Summit Books, 1986.
- MARKLE, Sandra & MARKLE, William. *In search of graphics: adventures in Computer art*. New York: Lothrop, Lee and Shepard Books, 1985.
- MARKOFF, John. The creature that lives in Pittsburgh. *New York Times*, April 21, 1991.
- MARKOV, A. *The theory of algorithms*. Moscow: National Academy of Sciences, USSR, 1954.
- MARR, D. *Vision*. New York: W. H. Freeman, 1982.
- MARTIN, James & OXMAN, Steven. *Building expert systems: a tutorial*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1988.
- MARTIN, William A., CHURCH, K. W. & PATIL, R. S. Preliminary analysis of a breadth-first parsing algorithm: theoretical and experimental results. Cambridge, MA: MIT Laboratory for Computer

- Science, 1981.
- MARX, Leo. *The machine in the garden: technology and the pastoral ideal in America*. London: Oxford University Press, 1964.
- MASON, Matthew T. & SALISBURY JR., Kenneth. *Robot hands and the mechanics of manipulation*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.
- MASSARO, D. W. *et al.* *Letter and word perception: orthographic structure and visual processing in reading*. Amsterdam: North Holland, 1980.
- MATHEWS, Max V *The technology of Computer music*. Cambridge, MA: MIT Press, 1969.
- MAYR, Ernst. *Animal species and evolution*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1963.
- . *Toward a new philosophy of biology*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988.
- MAYR, Otto. *Authority, liberty, and automatic machinery in early modern Europe*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1986.
- MAZLISH, Bruce. *The fourth discontinuity: the co-evolution of humans and machines*. New Haven, CT: Yale University Press, 1993.
- McCLELLAND, James L. & RUMELHART, David E. *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition volume 1*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- . *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition volume 2*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- McCORDUCK, Pamela. *Aaron's code: metaArt, artificial intelligence, and the work of Harold Cohen*. New York: W. H. Freeman, 1991.
- . *Machines who think: a personal inquiry into the history and prospects of artificial intelligence*. San Francisco: W. H. Freeman, 1979.
- McCULLOCH, Warren S. *An account of the first three conferences of teleological mechanisms*. Josiah Macy, Jr. Foundation, 1947.
- . *Embodiment of mind*. Cambridge, MA: MIT Press, 1965.
- McLUHAN, Marshall. *The medium is the message*. New York: Bantam Books, 1967.
- . *Understanding media: the extension of man*. New York: McGraw-Hill, 1964.
- MCRAE, Hamish. *The world in 2020: power, culture, and prosperity*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 1994.
- MEAD, Carver. *Analog VLSI implementation of neural systems*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
- MEAD, Carver & CONWAY, Lynn. *Introduction to VLSI systems*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1980.
- MEISEL, William S. *Computer-oriented approaches to pattern recognition*. New York: Academic Press, 1972.
- MEL, Bartlett W. *Connectionist robot motion planning: a neurally-inspired approach to visually-guided reaching*. Boston: Academic Press, 1990.
- METROPOLIS, N., HOWLETT, J. & ROTA, Gian-Carlo (Eds.). *A history of computing in the twentieth century*. New York: Academic Press, 1980.
- MILLER, Eric (Ed.). *Future vision: the 189 most important trends of the 1990s*. Naperville, IL: Sourcebooks Trade, 1991.
- MINSKY, Marvin. *Computation: finite and infinite machines*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1967.

- . A framework for representing knowledge. In: WINSTON, P. H. (Ed.). *The psychology of Computer vision*. New York: McGrawHill, 1975.
- . *The society of mind*. New York: Simon and Schuster, 1985.
- . (Ed.). *Robotics*. New York: Doubleday, 1985.
- . (Ed.). *Semantic information processing*. Cambridge, MA: MIT Press, 1968.
- MINSKY, Marvin & PAPERT, Seymour A. *Perceptrons: an introduction to computational geometry*. Cambridge, MA: MIT Press, 1969 (revised edition, 1988).
- MITCHELL, Melanie. *An introduction to genetic algorithms*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.
- MOHR, Richard R. *The platonic cosmology*. Leiden, Netherlands: E. J. Brill, 1985.
- MOORE, Thomas J. *Lifespan: new perspectives on extending human longevity*. New York: Simon and Schuster, 1993.
- MOORE, Walter. *Schrödinger: life and thought*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- MORAVEC, Hans. *Mind children: the future of robot and human intelligence*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988.
- MORGAN, Christopher P. (Ed.). *The "byte" book of Computer music*. Petereborough, NH: Byte Books, 1979.
- MOROWITZ, Harold J. & SINGER, Jerome L. *The mind, the brain, and complex adaptive systems*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1995.
- MORSE, Stephen S. (Ed.). *Emerging viruses*. Oxford: Oxford University Press, 1997.
- MUMFORD, Lewis. *The myth of the machine: technics and human development*. New York: Harcourt Brace and World, 1967.
- MURPHY, Pat. *By nature's design*. San Francisco: Chronicle Books, 1993.
- MURRAY, David W. & BUXTON, Bernard F. *Experiments in the machine interpretation of visual motion*. Cambridge, MA: MIT Press, 1990.
- MYERS, Terry, LAVER, John & ANDERSON, John (Eds.). *The cognitive representation of speech*. Amsterdam: North Holland, 1981.
- NAISBITT, John. *Globalparadox: the bigger the world economy, the more powerful its smallest players*. New York: William Morrow, 1994. [*Paradoxo global*. Rio de Janeiro: Campus, 1994.]
- NAISBITT, John & ABURDENE, Patrícia. *Megatrends 2000: ten new directions for the 1990s*. New York: William Morrow, 1990.
- . *Re-inventing the Corporation: transforming your job and your company for the new information society*. New York: Warner Books, 1985.
- NAYAK, P. Ranganath & KETTERINGHAM, John M. *Breakthroughs! How the vision and drive of innovators in sixteen companies created commercial breakthroughs that swept the world*. New York: Arthur D. Little, 1986.
- NEGROPONTE, Nicholas. *Being digital*. New York: Alfred A. Knopf, 1995.
- . Products and Services for Computer networks. *Scientific American*, Sept. 1991.
- NEUBERGER, A. P. *The technical arts and Sciences of the ancients*. London: Methuen, 1930.
- NEWELL, Allen. *Intellectual issues in the history of artificial intelligence*. Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University, 1982.

- . *The unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990.
- NEWELL, Allen & SIMON, Herbert A. *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1972.
- NEWELL, Allen, *et al.* Speech understanding systems: final report of a study group. Computer Science Department, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, may 1971.
- NEWMeyer, Frederick J. *Linguistic theory in America*. 2. ed. Orlando, FL: Academic Press, 1986.
- NEWTON, Isaac. *Philosophiae naturalis principia mathematica*. 3. ed. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1972. Original, 1726.
- NIERENBERG, Gerard. *The art of Creative thinking*. New York: Simon and Schuster, 1982.
- NILSSON, Lennart. *The body victorious: the illustrated story of our immune system and other defenses of the human body*. Trad. Clare James. New York: Delacorte Press, 1985.
- NILSSON, Nils J. *Principles of artificial intelligence*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1980.
- NILSSON, Nils J. & WEBBER, Bonnie Lynn. *Readings in artificial intelligence*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1985.
- NOCERA, Joseph. *A piece of the action: how the middle class joined the money class*. New York: Simon and Schuster, 1994.
- NORRETRANDERS, Tor. *The user illusion: cutting consciousness down to size*. New York: Viking, 1998.
- O'KEEFE, Bernard J. *Nuclear hostages*. Boston: HoughtonMifflin Company, 1983.
- OAKLEY, D. A. (Ed.). *Brain and mind*. London and New York: Methuen, 1985.
- OLIVER, Dick. *FractalVision: put fractals to workforyou*. Carmel, IN: Sams Publishing, 1992.
- ORNSTEIN, Robert. *The evolution of consciousness: of Darwin, Freud, and cranIAL fire; the origins of the way we think*. New York: Prentice-Hall Press, 1991.
- . *The mindfield*. London: Octagon Press, 1976.
- . *Multimind: a new way of looking at human behavior*. Boston: HoughtonMifflin, 1986.
- . *On the experience of time*. London: Penguin Books, 1969.
- . *The psychology of consciousness*. 2. ed. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1972.
- . (Ed.). *The nature of human consciousness: a book of readings*. New York: Viking, 1973.
- ORNSTEIN, Robert & ERLICH, Paul. *New world, new mind: moving toward conscious evolution*. New York: Doubleday, 1989.
- ORNSTEIN, Robert & SOBEL, D. S. *The healing brain*. New York: Simon and Schuster, 1987.
- ORNSTEIN, Robert & THOMPSON, Richard F. *The amazing brain*. Boston: Houghton Mifflin, 1984.
- OSHERSON, Daniel N., STOB, Michael & WEINSTEIN, Scott. *Systems thatlearn: an introduction to learning theory for cognitive and Computer scientists*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- OUELLETTE, Pierre. *The deus machine*. New York: Villard Books, 1994.
- OWEN, G. *The universe ofthe mind*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1971.
- PAGELS, Heinz R. *The cosmic code: quantum physics as the language of nature*. New York: Bantam Books, 1983.
- . *The dreams ofreason: the Computer and the rise of the Sciences of complexity*. New York: Bantam Books, 1988.
- . *Perfect symmetry: the search for the beginning of time*. New York: Bantam Books, 1986.

- PAPERT, Seymour. *The children's machine: rethinking school in the age of the Computer*. New York: Basic Books, 1993.
- . *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books, 1980.
- PASCAL, Blaise. *Pensées*. New York: E. P. Dutton, 1932. Original, 1670. [*Pensamentos*. São Paulo: Martin Claret, 2003.]
- PAUL, Gregory S. & COX, Earl D. *Beyond humanity: cyberEvolution and future minds*. Rockland, MA: Charles River Media, 1996.
- PAUL, Richard P. *Robot manipulators: mathematics, programming and control*. Cambridge, MA: MIT Press, 1981.
- PAULOS, John Allen. *Beyond numeracy: ruminations of a number man*. New York: Alfred A. Knopf, 1991.
- PAVLOV, I. P. *Conditioned reflexes*. London: Oxford University Press, 1927.
- PEAT, F. David. *Artificial intelligence: how machines think*. New York: Baen Enterprises, 1985.
- . *Synchronicity: the bridge between matter and mind*. Toronto: Bantam Books, 1987.
- PEITGEN, H. O., SAUPE, D. et al. *The Science of fractal images*. New York: Springer-Verlag, 1988.
- PEITGEN, H. O. & RICHTER, P. H. *The beauty of fractals: images of complex dynamical systems*. Berlin: Springer-Verlag, 1986.
- PENFIELD, W. *The mystery of the mind*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1975.
- PENROSE, R. & ISHAM, C. J. (Eds.). *Quantum concepts in space and time*. Oxford: Oxford University Press, 1986.
- PENROSE, Roger. *The emperor's new mind: concerning computers, minds, and the laws of physics*. New York: Oxford University Press, 1989.
- . *Shadows of the mind*. Oxford: Oxford University Press, 1994.
- PENTLAND, Alex P., (Ed.). *From Pixels to Predicates: Recent Advances in Computational and Robotic Vision*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation, 1986.
- PETERSON, Dale. *Genesis II: creation and recreation with computers*. Reston, VA: Reston Publishing CO., 1983.
- PETROSKI, Henry. *To engineer is human: the role of failure in successful design*. New York: St. Martin's Press, 1985.
- PIAGET, Jean. *The psychology of intelligence*. London: Routledge and Kegan Paul, 1967.
- PICKOVER, Clifford A. *Computers and the imagination: visual adventures beyond the edge*. New York: St. Martin's Press, 1991.
- PIERCE, John R. *The Science of Musical Sound*. New York: Scientific American Books, 1983.
- PINES, David (Ed.). *Emerging syntheses in Science*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1988.
- PINKER, Steven. *How the mind works*. New York: W. W. Norton and Company, 1997.
- . *The language instinct*. New York: William Morrow, 1994.
- . *Language learnability and language development*. Cambridge, MA: Harvard University Press,

1984.

. *Learnability and cognition: the acquisition of argument structure*. Cambridge, MA: MIT Press,

1989.

. (Ed.). *Visual cognition*. Cambridge, MA: MIT Press, 1984.

PINKER, Steven & MEHLER, J. (Eds.). *Connections and symbols*. Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

PLATO. *Epinomis*. The Loeb Classical Library. Ed. W. R. M. Lamb v. 8. New York: G. P. Putnam's Sons, 1927. [PLATÃO. *As leis Epinomis*. São Paulo: EDIPRO, 1999.]

. *Protagoras and Meno*. Baltimore, MD: Penguin Books, 1956.

. *Timaeus*. Indianapolis, IN: Bobbs-Merrill, 1959.

POLLOCK, John. *How to build a person: a prolegomenon*. Cambridge, MA: MIT Press, 1989. POOLE,

Robert M. *The incredible machine*. Washington, D.C.: The National Geographic Society,

1986.

POPPEL, Ernst. *Mindworks: time and conscious experience*. Boston: Harcourt Brace Jovanovich, 1988.

POPPER, Karl & ECCLES, John. *The self and its brain*. Berlin, London: Springer-Verlag, 1977.

POSNER, Michael I. & RAICHLE, Marcus E. *Images of mind*. New York: Scientific-American Library, 1994.

POTTER, Jerry L. (Ed.). *The massively parallel processor*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

POUNDSTONE, William. *Prisoner's dilemma*. New York: Doubleday, 1992.

. *The recursive universe: cosmic complexity and the limits of scientific knowledge*. New York: William Morrow, 1985.

PRATT, Vernon. *Thinking machines: the evolution of artificial intelligence*. New York: Basil Blackwell,

1987.

PRATT, William K. *Digital image processing*. New York: John Wiley and Sons, 1978.

PRICE, Derek J. de Solla. *Gears from the Greeks: the antikythera mechanism A calendar Computer from Circa 80 b.C.* New York: Science History Publication, 1975.

PRIGOGINE, Ilya. *The end of certainty: time's flow and the laws of nature*. New York: Simon and Schuster, 1997.

PRUEITT, Melvin L. *Art and the Computer*. New York: McGrawHill, 1984.

PRUSINKIEWICZ, Przemyslaw & LINDENMAYER, Aristid. *The algorithmic beauty of plants*. New York: Springer-Verlag, 1990.

RABINER, Lawrence R. & SCHAFER, Ronald W. *Digital processing of speech signals*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1978.

RACTER. *The policeman's beard is half constructed*: Computer prose and poetry by RACTER [William Chamberlain and Joan Hall.] New York: Warner Books, 1984.

RADFORD, Andrew. *Transformational syntax*: a student's guide to Chomsky's extended standard theory. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.

RAIBERT, Marc H. *Legged robots that balance*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

RANDELL, Brian (Ed.). *The origins of digital computers*: selected papers. New York: Springer-Verlag,

1975.

RAPHAEL, Bertram. *The thinking Computer*: mind inside matter. San Francisco: W. H. Freeman,

1976.

RASMUSSEN, S. *et al.* Computational connectionism within neurons: a model of cytoskeletal automata subserving neural networks. In: FORREST, Stephanie (Ed.). *Emergent computation*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

RAUP, David M. *Extinction*: bad genes or bad luck? New York: W. W. Norton, 1991.

RAWLINGS, Gregory J. E. *Moths to the flame*: the seduction of Computer technology. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

REE, Jonathan. *Descartes*. New York: Pica Press, 1974.

REICHARDT, Jasja. *Robots*: fact, fiction, and prediction. Middlesex, UK: Penguin Books, 1978.

REID, Robert H. *Architects of the web*: 1,000 days that built the future of business. New York: John Wiley and Sons, 1997.

RESTAK, Richard M. (M.D.) *The brain*. Toronto: Bantam Books, 1984.

RHEINGOLD, Howard. *Virtual reality*. New York: Summit Books, 1991.

RICH, Elaine. *Artificial intelligence*. New York: McGrawHill, 1983.

RICH, Elaine & KNIGHT, Kevin. *Artificial intelligence*. 2. ed. New York: McGrawHill, 1991.

RINGLE, Martin D. (Ed.). *Philosophical perspectives in artificial intelligence*. Brighton, Sussex: Harvester Press, 1979.

ROADS, Curtis (Ed.). *Composers and the Computer*. Los Altos, CA: William Kaufmann, 1985.

(Ed.). *The music machine*: selected readings from "computer music Journal". Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

ROADS, Curtis & STRAWN, John. *Foundations of Computer music*. Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

ROBIN, Harry & KEVLES, Daniel J. *The scientific image*: from cave to Computer. New York: Harry N. Abrams, 1992.

ROCK, Irvin. *Perception*. New York: Scientific American Books, 1984.

ROGERS, David E & ERNSHAW, Rae A. (Eds.). *Computer graphics techniques*: theory and practice. New York: Springer-Verlag, 1990.

ROSE, Frank. *Into the heart of the mind*: an American quest for artificial intelligence. New York: Vintage

Books, 1984.

ROSENBERG, Jerry M. *Dictionary of artificial intelligence and robotics*. New York: John Wiley and Sons,

1986.

ROSENBLATT, Frank, *Principies of neurodynamics*. New York: Spartan, 1962.

ROSENFELD, Israel. *The invention of memory: a new view of the brain*. New York: Basic Books, 1988

ROTHSCHILD, Joan (Ed). *Machina ex dea: feminist perspectives on technology*. New York: Pergamon Press, 1982.

ROTHSCHILD, Michael. *Bionomics: the inevitability of capitalism*. New York: Henry Holt and Company, 1990.

RUCKER, Rudy. *Infinity and the mind*. Boston: Birkhäuser, 1982.

. *Mind tools: the five levels of mathematical reality*. Boston: HoughtonMifflin Company,

1987.

. *Software*. Middlesex, UK: Penguin Books, 1983.

RUMELHART, D. E., MCCLELLAND, J. L. & PDP Research Group. *Parallel distributed processing*. Cambridge, MA: MIT Press, 1982. v. 1 and 2.

RUSSELL, Bertrand. *The ABC of relativity*. 4. ed. 1925. Reprint. London: Allen and Unwin, 1985.

. *The autobiography of Bertrand Russell: 1872-1914*. Toronto: Bantam Books, 1967.

. *The autobiography of Bertrand Russell: 1914-1944*. Toronto: Bantam Books, 1968.

. *A history of western philosophy*. New York: Simon and Schuster, 1945.

. *Introduction to mathematical philosophy*. New York: Macmillan, 1919.

. *Mysticism and logic*. New York: Doubleday Anchor Books, 1957.

. *The principles of mathematics*. Reprint. New York: W. W. Norton & Company, 1996.

. *The problems of philosophy*. New York: Oxford University Press, 1959.

RUSSELL, Peter. *The global brain: speculations on the evolutionary leap to planetary consciousness*. Los Angeles: J. P. Tarcher, 1976.

SABBAGH, Karl. *The living body*. London: Alacdonald & Company, 1984.

SACKS, Oliver. *The man who mistook his wife for a hat and other clinical tales*. New York: Harper and Row, 1985.

SAGAN, Carl. *Contact*. New York: Simon and Schuster, 1985 [*Contacto*. Lisboa: Gradiva, 1997.]

. *The dragons of Eden: speculations on the evolution of human intelligence*. New York: Ballantine Books, 1977. [*Os dragões do Eden*. Lisboa: Gradiva, 1985.]

. (Ed.). *Communication with extraterrestrial intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press, 1973.

SAMBURSKY, S. *The physical world of the Greeks*. London: Routledge and Kegan Paul, 1963.

SANDERSON, George & MCDONALD, Frank (Eds.). *Marshall McLuhan: the man and his message*.

Golden, CO: Fulcrum, 1989.

SAUNDERS, Peter T. The aomplexity of organisms. In: POLLARD, J. W. (Ed.). *Evolutionary theoty: paths into the future*. Nf w York: John Wiley and Sons, 1984.

SAVAGE, John E., MAGIDSON, Susan & STEIN, Alex M. *The mystical machine: issues and ideas in computing*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.

SAXBY, Graham. *Holograms: how to make and display them*. London: Focal Press, 1980.

SAYRE, Kenneth M. & CROSSON, Frederick J. *The modeling of mind: computers and intelligence*. New York: Simon and Schuster, 1963.

SCHANK, Roger. *The Creative attitude: leaming to ask and answer the right questions*. New York: Macmillan Publishing Company, 1988.

. *Dynamic memory: a theory of reminding and learning in computers and people*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

. *Tell me a story: a new look at real and artificial memory*. New York: Charles Scribner's Sons,

1990.

SCHANK, Roger C. & COLBY, Kenneth Mark (Eds.). *Computer models of thought and language*. San Francisco: W. H. Freeman, 1973.

SCHANK, Roger [with Peter G. Childers]. *The cognitive Computer: on language, learning, and artificial intelligence*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1984.

SCHILPP, P. A. (Ed.). *The philosophy of Bertrand Russell*. Chicago: Chicago University Press, 1944.

SCHON, Donald A. *Educating the reflective practitioner: toward a new design for teaching and learning in the professions*. San Francisco: Jossey-Bass, 1987.

SCHORR, Herbert & RAPPAPORT, Alain (Eds.). *Innovative applications of artificial intelligence*. Menlo Park, CA: AAAI Press, 1989.

SCHRÖDINGER, Erwin. *What is life?* Cambridge: Cambridge University Press, 1967.

SCHULL, Jonathan. Are species intelligent? *Behavioral and Brain Sciences*, v. 13, n. 1, 1990.

SCHULMEYER, G. Gordon. *Zero defect software*. New York: McGrawHill, 1990.

SCHWARTZ, LillIA n F. *The Computer artisBs handbook: concepts, techniques, and applications*. New York: W. W. Norton and Company, 1992.

SEARLE, John R. Minds, brains, and programs. *The behavioral and brain Sciences*, v. 3. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

. *Minds, brains and Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1985.

. *The rediscovery ofthe mind*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

SEJNOWSKI, T. & ROSENBERG, C. Parallel networks that learn to pronounce English text. *Complex Systems*, 1, 1987.

SERRA, Jean (Ed.). *Image analysis and mathematical morphology*. London: Academic Press, 1988. v. 1.

(Ed.). *Image analysis and mathematical morphology*. London: Academic Press, 1988. v. 2 (Theoretical Advances).

- SHAPIRO, Smart D. (Ed.). *Encyclopedia of artificial intelligence*. New York: John Wiley and Sons, 1987. 2 v.
- SHARPLES, M. D. *et al.* *Computers and thought: a practical introduction to artificial intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press, 1989.
- SHEAR, Jonathan (Ed.). *Explaining consciousness The "hard" problem*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995-1997.
- SHORTLIFFE, E. *MYCIN: computer-based medical consultations*. New York: American Elsevier, 1976.
- SHURKIN, Joel. *Engines of the mind: a history of the Computer*. New York: W. W. Norton, 1984.
- SIEKMANN, Jorg & WRIGHTSON, Graham. *Automation of reasoning 1: classical papers on computational logic 1957-1966*. Berlin: Springer-Verlag, 1983.
- . *Automation of reasoning 2: classical papers on computational logic 1967-1970*. Berlin: Springer-Verlag, 1983.
- SIMON, Herbert A. *Models of my life*. New York: Basic Books, 1991.
- . *The Sciences of the artificial*. Cambridge, MA: MIT Press, 1969.
- SIMON, Herbert A. & NEWELL, Allen. Heuristic problem solving: the next advance in operations research. *Operations Research*, v. 6, 1958.
- SIMON, Herbert A. & SIKLOSSY, L. (Eds.). *Representation and meaning: experiments with information processing systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1972.
- SIMPSON, George Gaylord. *The meaning of evolution*. The New American Library of World Literature. New York: A Mentor Book, 1951.
- SINGER, C, HOLMYARD, E. J., HALL, A. R. & WILLIAMS, T. I. (Eds.). *A history of technology*. Oxford: Oxford University Press, 1954-1958. 5 v.
- SINGER, Michael A. *The search for truth*. Alachua, FL: Shanti Publications, 1974.
- SLATER, Robert. *Portraits in Silicon*. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.
- SMITH, John Maynard. *Did Darwin get it right? Essays in games, sex and evolution*. New York: Chapman and Hall, 1989.
- SMULLYAN, Raymond. *Forever undecided: a puzzle guide to Gödel*. New York: Alfred A. Knopf, 1987.
- SOLSO, Robert L. *Mind and brain Sciences in the 21st century*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
- SOLTZBERG, Leonard J. *Sing a song of software: verse and images for the computer-literate*. Los Altos, CA: William Kaufmann, 1984.
- SOUCEK, Branco & SOUCEK, Marina. *Neural and massively parallel computers: the sixth generation*. New York: John Wiley and Sons, 1988.
- SPACKS, Barry. *The company of children*. Garden City, NY: Doubleday and Company, 1969.
- SPINOSA, Charles, DREYFUS, Hubert L. & FLORES, Fernando. *Disclosing new worlds: entrepreneurship, democratic action, and the cultivation of solidarity*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
- STAHL, Franklin W. *The mechanics of inheritance*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1964, 1969.
- STEIN, Dorothy. *Ada: a life and a legacy*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.
- STERNBERG, Robert J. (Ed.). *Handbook of human intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

- STERNBERG, Robert J. & DETTERMAN, Douglas K. (Eds.). *What is intelligence? Contemporary viewpoints on its nature and definition*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation, 1986.
- STEWART, Ian. *Does god play dice?* New York: Basil Blackwell, 1989.
- STOCK, Gregory. *Metaman: the merging of humans and machines into a global super-organism*. New York: Simon and Schuster, 1993.
- STORK, David G. *HALs legacy: 2001's Computer as dream and reality*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.
- STRASSMANN, Paul A. *Information payoff: the transformation of work in the electronic age*. New York: The Free Press, 1985.
- TALBOT, Michael. *The holographic universe*. New York, HarperCollins, 1991.
- TANIMOTO, Steven L. *The elements of artificial intelligence: an introduction using LISP*. Rockville, MD: Computer Science Press, 1987.
- TAYLOR, F. Sherwood. *A short history of Science and scientific thought*. New York: W. W. Norton and Company, 1949.
- TAYLOR, Philip A. (Ed.). *The industrial revolution in Britain: triumph or disaster?* Lexington, MA: Heath, 1970.
- THEARLING, Kurt. How we will build a machine that thinks. A Workshop at Thinking Machines Corporation, august 24-26, 1992.
- THOMAS, Abraham. *The intuitive algorithm*. New Delhi: Affiliated East-West PVT, 1991.
- THOMIS, Malcolm I. *The luddites: machine breaking in regency England*. Hamden, CT: Archon Books, 1970.
- THORPE, Charles E. *Vision and navigation: the Carnegie Mellon Navlab*. Norwell, MA: Kluwer Academic, 1990.
- THUROW, Lester C. *The future of capitalism: how today's economic forces shape tomorrow's world*. New York: William Morrow, 1996.
- TIME-LIFE BOOKS. *Computer images*. Alexandria, VA: Time-Life Books, 1986.
- TJEPKEMA, Sandra L. *A Bibliography of Computer music: a reference for composers*. Iowa City: University of Iowa Press, 1981.
- TOEPPERWEIN, L. L., et al. *Robotics applications for industry: a practical guide*. Park Ridge: Noyes Data Corporation, 1983.
- TOFFLER, Alvin. *Powershift*. New York: Bantam Books, 1990. [*Powershift: as mudanças do poder*. 6 ed. Rio de Janeiro: Record, 2003.]
- . *The thirdwave: the classic study of tomorrow*. New York: Bantam Books, 1980. [*A terceira onda*. Rio de Janeiro: Record, 1995.]
- TOFFOLI, Tommaso & MARGOLIS, Norman. *Cellular automata machines: a new environment for modeling*. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.
- TORRANCE, Stephen B. (Ed.). *The mind and the machine: philosophical aspects of artificial intelligence*. Chichester, UK: Ellis Horwood, 1986.
- TRAUB, Joseph F. (Ed.). *Cohabiting with computers*. Los Altos, CA: William Kaufmann, 1985.
- TRUEDELL, L. E. *The development of punch card tabulation in the bureau of the census, 1890-1940*. Washington, D.C.: Government Printing Office, 1965.
- TUFTE, Edward R. *The visual display of quantitative information*. Cheshire, CT: Graphics Press, 1983.

. *Visualexplanations: images and quantities, evidence and narrative*. Cheshire, CT: Graphics Press,

1997.

TURING, Alan. Computing machinery and intelligence. Reprinted. In: ANDERSON, Alan Ross (Ed.). *Minds and machines*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1964.

. On computable numbers, with an application to the *Entscheidungsproblem*. Proceedings, London Mathematical Society, 2, n. 42, 1936.

TURKLE, Sherry. *The second self: computers and the human spirit*. New York: Simon and Schuster, 1984.

TYE, Michael. *Ten problems of consciousness: a representational theory of the phenomenal mind*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995.

ULLMAN, Shimon. *The interpretation of visual motion*. Cambridge, MA: MIT Press, 1982.

USHER, A. P. *A history of mechanical inventions*. 2. ed. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1958.

VAINA, Lucia & HINTINKA, Jaakko (Eds.). *Cognitive constraints on communication*. Dordrecht, Netherlands: Reidel, 1985.

VAN HEIJENOORT, Jean (Ed.). *from Frege to Gödel*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1967.

VARELA, Francisco J., THOMPSON, Evan & ROSCH, Eleanor. *The embodied mind: cognitive Science and human experience*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.-

VIGNE, V Technological singularity. *Whole Earth Review*, Winter 1993.

VON NEUMANN, John. *The Computer and the brain*. New Haven, CT: Yale University Press, 1958.

WADDINGTON, C. H. *The strategy of the genes*. London: George Allen and Unwin, 1957.

WALDROP, M. Mitchell. *Complexity: the emerging Science at the edge of order and chaos*. New York: Simon and Schuster, 1992.

. *Man-made minds: the promise of artificial intelligence*. New York: Walker and Company,

1987.

WALTZ, D. Massively parallel AI. Paper presented at the American Association of Artificial Intelligence (AAAI), August 1990.

WALTD, David. *Connectionist models and their implications: readings from cognitive Science*. Norwood, NJ: Ablex, 1987.

WANG, Dr. An. *Lessons: an autobiography*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.

WANG, Hao. *A logical journey: from Gödel to philosophy*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

WARRICK, Patrícia S. *The cybernetic imagination in Science fiction*. Cambridge, MA: MIT Press, 1980.

WATANABE, Satoshi. *Pattern recognition: human and mechanical*. New York: John Wiley and Sons, 1985.

WATERMAN, D. A. & HAYES-ROTH, F. (Eds.). *Pattern-directed inference systems*. Out of print.

WATSON, J. B. *Behaviorism*. New York: Norton, 1925.

- WATSON, J. D. *The double helix*. New York: Atheneum, 1968.
- WATT, Roger. *Understanding vision*. London: Academic Press, 1991.
- WEBBER, Bonnie Lynn & NILSSON, Nils J. (Eds.). *Readings in artificial intelligence*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1981.
- WEINBERG, Steven. *Dreams of a final theory*. New York: Pandion Books, 1992.
- . *The first three minutes: a modern view of the origin of the universe*. New York: Pantheon Books,

1977.

- WEINER, Jonathan. *The next one hundred years*. New York: Bantam Books, 1990.
- WEINSTOCK, Neal. *Computer animation*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.
- WEISS, Sholom M. & KULIKOWSKI, Casimir H. *A practical guide to designing expert systems*. Totowa, NJ: Rowman and Allanheld, 1984.
- WEIZENBAUM, Joseph. *Computer power and human reason*. San Francisco: W. H. Freeman, 1976.
- WERNER, Gerhard. Cognition as self-organizing process. *Behavioral and Brain Sciences*, v. 10, 2: 183.
- WESTFALL, Richard. *Never at rest: a biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.
- WHITE, K. D. *Greek and Roman technology*. London: Thames and Hudson, 1984.
- WHITEHEAD, Alfred N. & RUSSELL, Bertrand. *Principia mathematica*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1925-1927. 3 v.
- WICK, David. *The infamous boundary: seven decades of heresy in quantum physics*. Boston: Birkhäuser, 1955.
- WIENER, Norbert. *Cybernetics: or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge, MA: MIT Press, 1965.
- . *God and Golem, Inc.: a comment on certain points where cybernetics impinges on religion*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.
- WILLS, Christopher. *The runaway brain: the evolution of human uniqueness*. New York: Basic Books, 1993.
- WINKLESS, Nels & BROWNING, Iben. *Robots on your doorstep: a book about thinking machines*. Portland, OR: Robotics Press, 1978.
- WINNER, Langdon. *Autonomous technology: techniques-out-of-control as a theme in political thought*. Cambridge, MA: MIT Press, 1977.
- WINOGRAD, Terry. *Understanding computers and cognition*. Norwood, NJ: Ablex, 1986.
- . *Understanding natural language*, New York: Academic Press, 1972.
- WINSTON, Patrick Henry. *Artificial intelligence*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1984.
- . *The psychology of Computer Vision*. New York: McGrawHill, 1975.
- WINSTON, Patrick Henry & BROWN, Richard Henry (Eds.). *Artificial intelligence: an MIT perspective*. Cambridge, MA: MIT Press, 1979. v. 1.

- (Eds.). *Artificial intelligence: an MIT perspective*. Cambridge, MA: MIT Press, 1979. v. 2.
- WINSTON, Patrick Henry & PRENDERGAST, Karen A. *The AI business: commercial uses of artificial intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press, 1984.
- WITTGENSTEIN, Ludwig. *Philosophical investigations*. Oxford: Blackwell, 1953.
- . *Tractatus logico-philosophicus*. London: Routledge and Kegan Paul, 1961.
- YAVELOW, Christopher. *MacWorld music and sound bible*. San Mateo, CA: IDG Books Worldwide, 1992.
- YAZDANI, M. & NARAYANAN, A. (Eds.). *Artificial intelligence: human effects*. Chichester, UK: Ellis Horwood, 1984.
- YOVITS, M. C. & CAMERON, S. (Eds.). *Self-organizing systems*. New York: Pergamon Press, 1960.
- ZADEH, Lofti. *Information and control*. New York: Academic Press, 1974. v. 8.
- ZELLER, Eduard. *Plato and the older academy*. Reprint. New York: Russell and Russell, 1962.
- ZUE, Victor W., CHEN, Francine R. & LAMEL, Lori. *Speech spectrogram reading: an acoustic study of English words and sentences*. Cambridge, MA: MIT Press. Lecture Notes and Spectograms, July 26-30, 1982.

WEB LINKS

Abaixo, você vai encontrar um catálogo, organizado por assunto, de sites da World Wide Web que são relevantes aos tópicos discutidos no livro. Lembre-se de que, em comparação aos livros relacionados em uma bibliografia, websites não duram nem de longe tanto quanto aqueles. Esses sites foram todos verificados quando o livro foi para a gráfica^[2], mas inevitavelmente alguns já não estarão mais em atividade. A Web, infelizmente, está atulhada de sites que não funcionam mais.

SITES RELEVANTES PARA o UURD

Website do livro *A Era das Máquinas Espirituais*, de Ray Kurzweil: <http://www.penguininputnam.com/kurzweil>> Contato com o autor: raymond@kurzweiltech.com

Para baixar uma cópia do *Cybernetic Poet*, de Ray Kurzweil: <http://www.kurzweiltech.com>> A editora original deste livro, a Viking: <http://www.penguininputnam.com>> Para publicações de Ray Kurzweil: Acesse <http://www.kurzweiltech.com> ou <http://www.kurzweiledu.com> e selecione "Publications"

WEBSITES DE EMPRESAS FUNDADAS POR RAY KURZWEIL

Kurzweil Educational Systems, Inc. (criadora de sistemas de leitura de impressão-para-fala para pessoas com incapacidade de leitura e problemas visuais): <http://www.kurzweil.edu>> Kurzweil Technologies, Inc. (criadora do *Cybernetic Poet*, de Ray Kurzweil e outros projetos de software): <http://www.kurzweiltech.com>> A divisão de ditado da Lernout & Hauspie Speech Products (ex-Kurzweil Applied Intelligence, Inc.), criadora de sistemas de reconhecimento de fala e software de linguagem natural: <http://www.lhs.com/dictation>> O website da Lernout & Hauspie: <http://www.lhs.com>> Kurzweil Music Systems, Inc., criadora de sintetizadores de música computadorizados, vendida para Young Chang, em 1990: <http://www.youngchang.com/kurzweil/index.html>> TextBridge Optical Character Recognition (OCR). Ex-Kurzweil OCR, da Kurzweil Computer Products, Inc. (vendida para a Xerox Corp. em 1980): <http://www.xerox.com/scansoft/textbridge>>

PESQUISA SOBRE VIDA ARTIFICIAL E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O Artificial Intelligence Laboratory, no Massachusetts Institute of Technology (MIT): <http://www.ai.mit.edu>> Artificial Life On-line: <http://alife.santafe.edu>> Contemporary Philosophy of Mind: An Annotated Bibliography: <http://ling.ucsc.edu/~chalmers/biblio.html>> Learning Laboratory, Universidade de Massachusetts, Amherst: <http://www-ml.cs.umass.edu>> MIT Media Lab: <http://www.media.mit.edu>> SSIE 580B: Evolutionary Systems and Artificial Life, por Luis M. Rocha, Los Alamos National Laboratory: http://www.c3.lanl.gov/~rocha/ss504_02.html> Stewart Dean's Guide to Artificial Life: <http://www.webslave.dircon.co.uk/alife/intro.html>>

ASTRONOMIA/FÍSICA

American Institute of Physics: <http://www.aip.org/history/einstein>> International Astronomical Union (IAU): <http://www.intastun.org>> Introduction to the Big Bang Theory: <http://www.bowdoin.edu/dept/physics/astro.1997/astro4/bigbang.html>>

BIOLOGIA E EVOLUÇÃO

American Scientist Article: Reward Deficiency Syndrome:

<http://www.amsci.org/amsci/Articles/96Articles/Blum-full.html>> Animal Diversity Web Site, Museu de Zoologia da Universidade de Michigan: <http://oit.itd.umich.edu/projects/ADW>> A Origem das Espécies, de Charles Darwin: <http://www.literature.org/Works/Charles-Darwin/origin>> Evolution and Behavior: <http://ccp.uchicago.edu/~jyin/evolution.html>> The Human Genome Project: <http://www.nhgri.nih.gov/HGP>> Information Processing in the Human Body: <http://vadim.www.media.mit.edu/MAS862/Project.html>> Thomas Ray/Tierra: <http://www.hip.atr.co.jp/~ray>> The Visible Human Project: http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html>
 PESQUISA DE IMAGEAMENTO CEREBRAL

Brain Research Web Page, Jeffrey H. Lake Research: <http://www.brainresearch.com>> Applications of Brain Research: <http://www.brainresearch.com/apps.html>> Amiram Grinvald's website: Imaging the Brain in Action: <http://www.weizmann.ac.il/brain/grinvald/grinvald.html>> The Harvard Brain Tissue Resource Center: <http://www.brainbank.mclean.org:8080>> The McLean Hospital Brain Imaging Center: <http://www.mclean.org:8080>> Optical Imaging, Inc., Home Page: <http://opt-imaging.com>> Research Imaging Center: Solving the Mysteries of the Mind, University of Texas Health Science Center at San Antonio: <http://biad63.uthscsa.edu>> Visualization and Analysis of 3D Functional Brain Images, by Finn Arup Nielsen, Institute of Mathematical Modeling, Section for Digital Signal Processing, ex-Electronics Institute, Technical University of Denmark: <http://hendrix.ei.edu.dk/staff/students/fnielsen/thesis/finn/finn.html>> Weizmann Institute of Science: <http://www.weizmann.ac.il>> The Whole Brain Atlas: [http://www.m\(Ed.\).harvard.edu/AANLIB/home.html](http://www.m(Ed.).harvard.edu/AANLIB/home.html)>
 APLICAÇÕES MÉDICAS E COMERCIAIS PARA COMPUTADORES

Automated Highway System DEMO; National AHS Consortium Home Page: <http://monolith-mis.com/ahs/default.htm>> Biometric (The Face Recognition Home Page): <http://cherry.kist.re.kr/center/html/sites.html>> Face Recognition Homepage: <http://www.cs.rug.nl/~peterkr/FACE/face.html>> The Intelligent Vehicle Initiative: Advancing "Human-Centered" Smart Vehicles: <http://www.tfhr.gov/pubrds/pr97-10/pl8.htm>> Kurzweil Educational Systems, Inc.: <http://www.kurzweil.edu>> Kurzweil Music Systems (Welcome to Kurzweil Music Systems): <http://www.youngchang.com/kurzweil/index.html>> Laboratory for Financial Engineering, MIT: <http://web.mit.edu/lfe/www>> Lernout & Hauspie Speech Products: <http://www.lhs.com>> Medical Symptoms Matching Software: <http://www.ozemail.com.au/~lisadev/sftdocpu.htm>> Miros Company Information: http://www.miros.com/About_Miros.htm> Synaptics, Inc.: <http://www.synaptics.com>> Systran: <http://www.systransoft.com>>
 COMPUTADORES E ARTE/CRIATIVIDADE

Arachnaut's Lair Electronic Music Links: <http://www.arachnaut.org/music/links.html>> ArtSpace: Computer Generated Art: <http://www.uni.uiuc.edu/~artspace/compngen.html>> BRUTUS.I Story Generator: <http://www.rpi.edu/dept/ppcs/BRUTUS/brutus.html>> But It Is Computer Art? <http://www.cs.swarthmore.edu/~binde/art/index.html>> Computer Artworks, Ltd:

<http://www.artworks.co.uk/welcome.htm> Computer Generated Writing:
<http://www.notam.uio.no/~mariusw/c-g.writing> Northwest Cyberartists: Time Warp of Past Events:
<http://www.nwlink.com/cyberartists/timewarp.html> Music Software:
<http://www.yahoo.com/Entertainment/Music/Software> An OBS Cyberspace Extension of *Being Digital*,
 by Nicholas Negroponte: <http://www.obs-us.com/obs/english/books/nn/bdintro .htm> Ray Kurzweil's
 Cybernetic Poet: <http://www.kurzweiltech.com> Recommended Reading, Computer Art:
<http://ananke.advanced.org/3543/resourcessites.html> Virtual Muse: Experiments in Computer Poetry:
<http://camel.conncoll.edu/ccother/cohar/programs/index.html>
 COMPUTADORES E CONSCIÊNCIA/ESPIRITUALIDADE

Considerations on the Human Consciousness: <http://www.medIA.com.it/~v.colaciuri/consc.htm> Extropy
 Online, Arterati on Ideas, by Natasha Vita More; Vinge's View of the Singularity:
http://www.extropy.com/~exi/eo_articlesvinge.htm God and Computers:
<http://web.mit.edu/bpadams/www.gao> Kasparov vs. Deep Blue: The Rematch:
<http://www.nytimes.com/partners/microsites/chess/archive8.html> Artigos *on-line* sobre consciência,
 compilados por David Chalmers: <http://ling.ucsc.edu/~chalmers/mind.html> Toward a Science of
 Consciousness 1998 "Tucson III", Conference, The University of Arizona, Tucson, Arizona. Apoio do
 Fetzer Institute e do Institute of Noetic Sciences: <http://www.zynet.co.uk/imprint/Tucson>
 PESQUISA EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Defining Virtual Reality, Industry Consortium in the Institute for Communication Research, Department of
 Communication, Stanford University:
<http://www.cyborganic.com/people/jonathan/Academia/Papers/Web/defining-vr.html> Computer Games:
 Past, Present, Future: <http://www.bluetongue.com/~pang/DRAFT.html> The Haptics Community Web
 Page: <http://haptic.mech.nwu.edu> Modeling and Simulation: Linking Entertainment and Defense:
<http://www.nap.edu/readingroom/books/modeling/index.html> Physics News Update Number 219 The
 Density of Data: A link to Lambertus Hesselink's research on crystal computing:
<http://www.aip.org/enews/physnews/1995/split/pnu219-2.htm> Student cracks encryption code. A link to
 the article in USA Today on how Ian Goldberg, the graduate student from the University of California,
 cracked the 40-bit encryption code: <http://www.usatoday.com/life/cyber/tech/ct718.htm>
 AGENTES AUTÔNOMOS

Agent Web Links:
<http://www.cs.bham.ac.uk/~amw/agents/links/index.html>
 VISÃO DE COMPUTADOR

Computer Vision Research Groups:
<http://www.cs.cmu.edu/~cil/v-groups.html>
 COMPUTAÇÃO DE DNA

"DNA-based computers could race past supercomputers, researchers predict." A link to an article in the
 Chronicle of Higher Education on DNA computing, by Vincent Kiernan:
<http://chronicle.com/data/articles.dir/art-44.dir/issue-14.dir/14a02301.htm> Explanation of Molecular
 Computing with DNA, by Fred Hapgood, Moderator of the Nanosystems Interest Group at MIT:
http://www.mitre.org/research/nanotech/hapgood_on_DNA.html The University of Wisconsin: DNA
 Computing: <http://corninfo.chem.wisc.edu/writings/DNAcomputing.html>

SISTEMAS ESPECIALISTAS/ENGENHARIA DE CONHECIMENTO

Knowledge Engineering, Engineering Management Graduate Program at ChristAn Brothers University:
On-line Resources to a Variety of Links: <<http://www.cbu.edu/~pong/engm624.htm>>

ALGORITMOS GENETICOS/COMPUTAÇÃO EVOLUCIONARIA

The Genetic Algorithms Archive at the Navy Center for Applied Research in Artificial Intelligence:

<<http://www.aic.nrl.navy.mil/galist>> The Hitchhiker's Guide to Evolutionary Computation, Issue 6.2: A List of Frequently Asked Questions (FAQ), edited by Jörg Heitkötter and David Beasley:

<<ftp://ftp.cs.wayne.edu/pub/EC/FAQ/www/top.htm>> The Santa Fe Institute: <http://www.santafe.edu>

GESTÃO DO CONHECIMENTO

ATM Links (Asynchronous Transfer Mode): <<http://www.ee.cityu.edu.hk/~splam/html/atmlinks.html>>

Knowledge Management Network: <<http://kmn.cibit.hvu.nl/index.html>> Some Ongoing KBS/Ontology Projects and Groups: <[http://www.cs.utexas.edu/users/mfkb/relat\(Ed.\).html](http://www.cs.utexas.edu/users/mfkb/relat(Ed.).html)>

NANOTECNOLOGIA

Eric Drexler's website as the Foresight Institute (inclui o texto completo de *Engines of Creation*)-.

<<http://www.foresight.org/EOC/index.html>> Richard Feynman's talk "There's Plenty of Room at the

Bottom": <<http://nano.xerox.com/nanotech/feynman.html>> Nanotechnology: Ralph Merkle's website at the

Xerox Palo Alto Research Center: <<http://sandbox.xerox.com/nano>> MicroElectroMechanical Systems and Fluid Dynamics Research Group Professor ChihMing Ho's Laboratory, University of California at Los

Angeles: <<http://ho.seas.ucla.edu/new/main.htm>> Nanolink: Key Nanotechnology Sites on the Web:

<<http://sunsite.nus.sg/MEMEX/nanolink.html>> Nanothinc:

<<http://www.nanothinc.com>> NEC Research and Development Letter: A summary of Dr. Sumio Iihima's

research on nanotubes: <<http://www.labs.nec.co.jp/rdletter/letter01/index.html>> An overview of the Performance Envelope of Digital Micromirror Device (DMD) Based Projection Display System by Dr.

Jeffrey Sampsell, of Texas Instruments. A link to a paper describing the creation of micromirrors in a tiny, high-resolution projector: <[http://www.ti.com/dlp/docs/it/resources/white/overview/ over..shtml](http://www.ti.com/dlp/docs/it/resources/white/overview/over.shtml)> Small is

Beautiful: A Collection of Nanotechnology Links:

<<http://science.nasa.gov/Groups/Nanotechnology/nanotech.html>> Center for Nanoscale Science and

Technology at Rice University: <<http://cnst.rice.edu>> The Smart Matter Research Group, Xerox Palo Alto

Research Center: <<http://www.parc.xerox.com/spl/projects/smart-matter>> Richard Smalley's home page:

<<http://cnst.rice.edu/reshome.html>>

IMPLANTES NEURAIS / PRÓTESES NEURAIS

Membrane and Neurophysics Department, the Max Planck Institute for Biochemistry:

<<http://mnphys.biochem.mpg.de>> "Neural Prosthetics Come of Age as Research Continues", by Robert

Finn, in the *Scientist*. A link to an article on the use of neural prosthetics in helping patients with neurological disorders: <http://www.the-scientist.library.upenn.edu/yr1997/sept/research_97029.html>

Physics of Computation-Carver Mead Group: <http://www.pcmp.caltech.edu>

REDES NEURAIS

Brainmaker/California Scientific's home page: <<http://www.calsci.com>> Hugo de Garis's web page on

Brain Builder Group: <<http://www.hip.atr.co.jp/~degaris>> IEEE Neural Network Council Home Page: <<http://www.ewh.ieee.org/tc/nno>

Neural Network Frequently Asked Questions: <<ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html>> PROFIT Initiative at MIT's Sloan School of Management: <http://scanner-group.mit.edu>

COMPUTAÇÃO QUANTICA

The Information Mechanics Group / Lab for Computer Science at MIT: <<http://www-im.lcs.mit.edu>>

Quantum computation/cryptography at Los Alamos National Laboratory: <<http://qso.lanl.gov/qo>

Physics and Media Group at the MIT Media Lab: <<http://www.research.ibm.com/quantuminfo>>

SUPER COMPUTADORES

Accelerated Strategic Computing Initiative: <<http://www.llnl.gov/asci>> Lawrence Livermore National Laboratory/University of California for the U.S.Department of Energy: <<http://www.llnl.gov>> NEC Begins Designing World's Fastest Computer: <http://www.nb-pacifica.com/headline/necbeginsdesigningwo_1208.shtml>

VISÕES DO FUTURO

ACM 97 "The Next 50 Years" (Association for Computing Machinery): <<http://research.microsoft.com/acm97>> The Extropy Site (a web site and on-line magazine covering a wide range of advanced and future technologies**): <<http://www.extropy.org>> SETI Institute web site: <<http://www.seti.org>> WTA: The World Transhumanist Association <<http://www.transhumanism.com>>

HISTORIA DOS COMPUTADORES

Avanços dos anos 1960: <<http://www.inwap.com/reboot/allIance/1960s.txt>> BYTE Magazine-December 1996/Cover Story/Progress and Pitfalls: <<http://www.byte.com/art/9612/sec6/art3.htm>> History of Computing: IEEE Computer Society: <http://www.computer.Org/5_0> The Historical Collection, the Computer Museum History Center: <<http://www.tcm.org/html/history/index.html>> Intel Museum Home Page: What Is Moore's Law?: <http://www.pentium.com/intel/museum/2_5_anniv/hof/moore.htm> SPACEWAR: Fanatic Life and Symbolic Death Among the Computer Bums, by Stewart Brand: <<http://www.baumgart/rolling-stone/spacewar.html>> Timeline of Events in Computer History, from the Virtual History Museum Group: <<http://video.cs.vt.edu:90/cgi-bin/ShowMap>> Chronology of Events in the History of Computers: <<http://www3.island.net.com/~kpolsson/comphist.htm>> Unisys History Newsletter: <<http://www.cc.gatech.edu/services/unisys-folklore>>

REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E LUDITAS/ÍYIOUIÍYIENTD NEOLUDITA Artigos anarcoprimitivistas, anticivilização e neoluditas: <<http://elaine.teleport.com/~jaheriot/anarprim.htm>> What's a Luddite?

<<http://www.luddites.com/index2.html>> The Unabomber Manifesto, by Ted Kaczynski: <<http://www.soci.niu.edu/~critcrim/uni/uni.txt>>

TIPOLOGIA: Janson Text 55 Roman [texto]

ITC Officina Sans Book [quadros]

Briem Akademi MM Regular [entretítulos]

PAPEL: Chambril 75 gr/m² [miolo]

Supremo 250 gr/m² [capa]

IMPRESSÃO: Graphium Gráfica [abril de 2013]

1ª EDIÇÃO: julho de 2007 [2 reimpressões]

Um consórcio de 18 fabricantes de telefones celulares e outros dispositivos eletrônicos portáteis está desenvolvendo uma tecnologia apelidada de *Bluetooth*, que fornece comunicações sem fio dentro de um raio de mais ou menos 10 metros a um ritmo de transmissão de dados de 700 a 900 quilobits por segundo. Espera-se que o *Bluetooth* seja comercializado no final de 1999 e terá inicialmente um custo de cerca de 20 dólares por unidade. Espera-se que este custo decline rapidamente a partir de sua introdução. O *Bluetooth* permitirá comunicações pessoais e, também, a comunicação de dispositivos eletrônicos uns com os outros.

2. Tecnologia semelhante à do *Bluetooth* (veja nota 1) permitirá aos periféricos, os componentes de computadores, tais como as unidades de computação, teclados, ponteiros, impressoras etc., comunica-rem-se diretamente uns com os outros, sem o emprego de cabos.

3. A companhia Microvision, de Seatle, tem um produto chamado *Virtual Retina Display* (VRD) que projeta imagens diretamente na retina do usuário, ao mesmo tempo em que permite ao usuário ver o ambiente normal que o cerca de maneira simultânea. O Microvision VRD é, atualmente, muito caro e

Em 1999, ano da publicação original nos EUA. [N. do T.]